



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Vurdering af lavfrekvent støj og infralyd fra decentrale el-producerende anlæg

Pedersen, Christian Sejer; Møller, Henrik

Publication date:
2005

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Pedersen, C. S., & Møller, H. (2005). *Vurdering af lavfrekvent støj og infralyd fra decentrale el-producerende anlæg*. Denmark. <http://acoustics.aau.dk/research/lf/infralydindex.html>

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

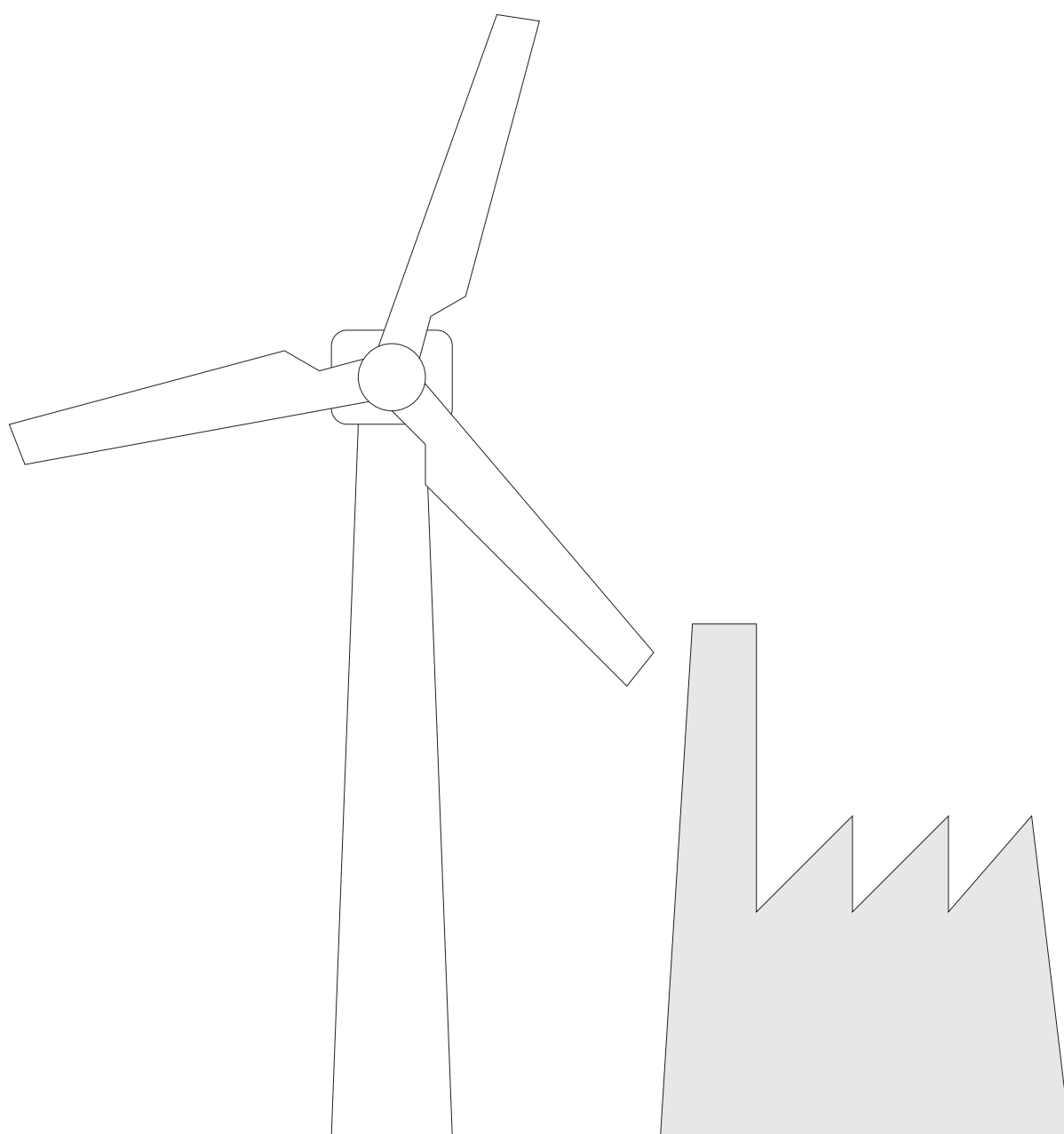
- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Christian Sejer Pedersen og Henrik Møller

Vurdering af lavfrekvent støj og infralyd fra decentrale el-producerende anlæg



**Afdeling for Akustik
Aalborg Universitet 2005**

Vurdering af lavfrekvent støj og infralyd fra decentrale el-producerende anlæg

Af Christian Sejer Pedersen og Henrik Møller

Vurdering af lavfrekvent støj og infralyd fra decentrale el-producerende anlæg

ISBN 87-90834-74-7

© Copyright 2005 Christian Sejer Pedersen og Henrik Møller

Udgivet af

Afdeling for Akustik, Aalborg Universitet

Fredrik Bajers Vej 7, B5

DK-9220 Aalborg Ø, Danmark

Telefon (+45) 96358710, telefax (+45) 98152144

E-mail acoustics@acoustics.aau.dk

Forord

Denne rapport er resultatet af et samarbejde mellem Elsam Engineering A/S og Afdeling for Akustik, Aalborg Universitet. Baggrunden er et fælles ønske om at vide, om decentrale el-producerende anlæg – nærmere bestemt vindmøller og lokale kraftvarmeværker – udsender infralyd og/eller lavfrekvent støj, som kan genere beboere i nærheden. Elsam Engineerings opgave har været at foretage målinger af infralyd og lavfrekvent støj i ejendomme beliggende i nærheden af sådanne anlæg. Afdelingen for Akustiks opgave har været at analysere målingerne og sammenholde resultaterne med den eksisterende viden om gener fra infralyd og lavfrekvent støj og derigennem give en vurdering af, om støjen kan forventes at genere. Målingerne er primært lavet, så de opfylder de officielle regler fra Miljøstyrelsen, men efter ønske fra Afdeling for Akustik er der lavet nogle supplerende målinger.

Elsam Engineering har udvalgt el-producerende anlæg og lavet støjmålinger i nærtliggende boliger eller kontorbygninger. Der er lavet 12 målinger og resultaterne er præsenteret i 11 målerapporter. Det er disse målerapporter samt supplerende analyser af de rå lyddata, der ligger til grund for denne rapport og vurderingerne i den. Rapporten er offentligt tilgængelig, men efter aftale mellem parterne indeholder den ikke informationer om, hvor de enkelte målinger er lavet. Læsere som ønsker yderligere informationer om målingerne, må rette henvendelse til Elsam Engineering for eventuelt at få adgang til de oprindelige målerapporter. Det bemærkes, at Elsam Engineering også har målt vibrationer, men at denne rapport kun omhandler resultaterne af lydmålingerne.

Christian Sejer Pedersen og Henrik Møller
Afdeling for Akustik, Aalborg Universitet.
Fredrik Bajers Vej 7, B5
9220 Aalborg Ø

Indholdsfortegnelse

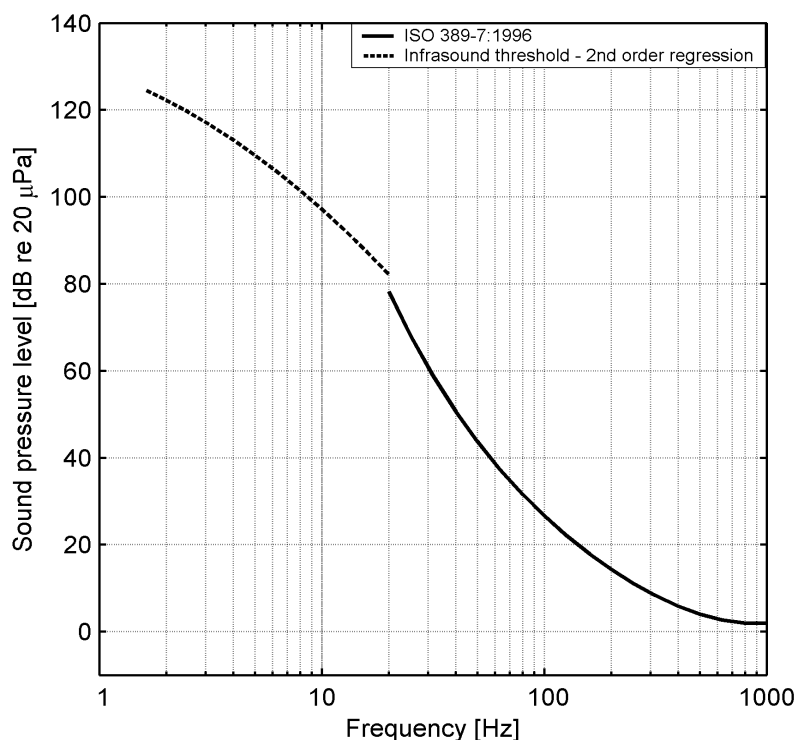
Forord.....	3
1 Kort om infralyd og lavfrekvent støj.....	5
1.1 Menneskets hørelse	5
1.2 Kilder til infralyd og lavfrekvent støj.....	7
2 Regler og grænseværdier for infralyd og lavfrekvent støj	8
2.1 Baggrundsstøj og måleperioder	8
2.2 Målepositioner	8
2.3 Grænseværdier.....	8
3 Supplerende målinger og kommentarer til Miljøstyrelsens vejledning	10
3.1 Målepositioner.....	10
3.2 Grænseværdier.....	11
4 De udførte analyser	12
4.1 Spektrogram med tærskelvægtning	12
4.2 1/3-oktavbåndsanalyse	12
4.3 Egenstøj i måleudstyret	13
4.4 Eksempel på spektrogram og 1/3-oktavbåndsanalyse.....	13
5 Vurdering af de enkelte målinger.....	14
5.1 Målerapport 172444	15
5.2 Målerapport 179467	20
5.3 Målerapport 180314	24
5.4 Målerapport 185163	26
5.5 Målerapport 185422	29
5.6 Målerapport 185790	33
5.7 Målerapport 186015	36
5.8 Målerapport 186303	39
5.9 Målerapport 188324	42
5.10 Målerapport 193926	45
5.11 Målerapport 194868	48
6 Diskussion.....	51
6.1 Betydning af afstand og anlæg	51
6.2 Valg af målepunkter	52
6.3 Betydning af energimidling.....	53
6.4 Betydning af baggrundsstøj.....	53
7 Resumé og konklusion	54
8 Referencer	55

1 Kort om infralyd og lavfrekvent støj

1.1 Menneskets hørelse

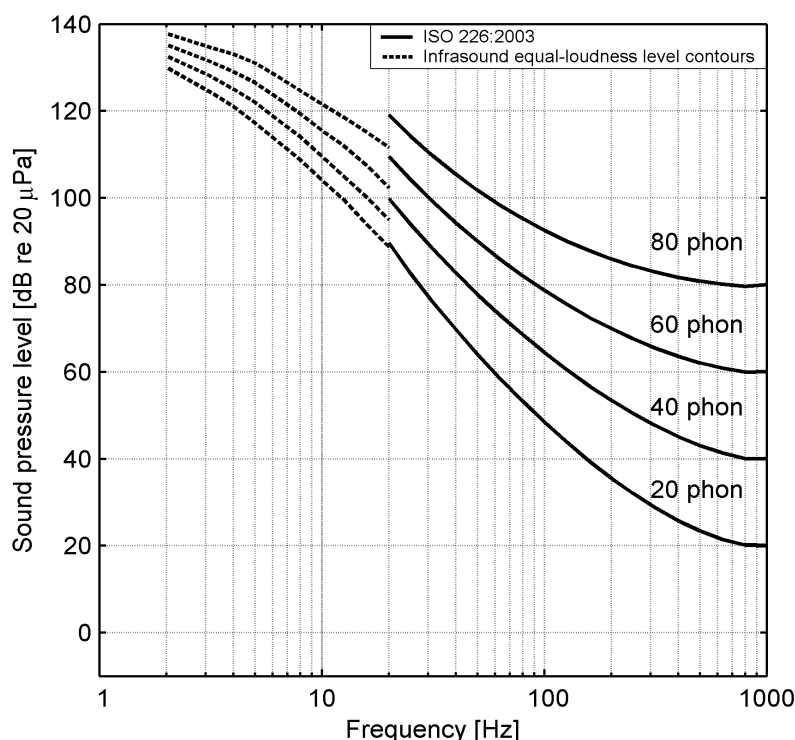
Menneskets øre er generelt ikke ret følsomt overfor dybe toner, hvilket kan ses i høretærsklen. Den normale høretærskel er vist i Figur 1 for frekvenser under 1 kHz. Jo lavere frekvensen er, jo højere er høretærsklen. Høretærsklen er kun standardiseret ned til 20 Hz [1] (den fuldt optrukne kurve), og man har tidligere troet, at mennesket slet ikke kan høre lavere frekvenser end ca. 20 Hz. Det har ført til, at man bruger udtrykket *infralyd* for frekvensområdet under 20 Hz, idet *infra* er latin og betyder under. Det har dog vist sig, at man godt kan høre lyde med frekvenser under 20 Hz, blot de er kraftige nok. Det gælder alle mennesker, og ikke kun særligt følsomme personer. Der findes i dag en del målinger af høretærsklen også i infralydsområdet. En kurve baseret på de mest pålidelige tærskeldata er vist med den stiplede linje på Figur 1 (fra review i [2] og enkelte nyere data).

Spredningen mellem personer på høretærsklen er omkring 5 dB [2], og hvis man antager, at høretærsklen er normalfordelt, betyder det, at kun 2-3 % af befolkningen kan høre lyde, som ligger 10 dB under den normale høretærskel. Der er teorier om, at enkeltpersoner kan have en meget lavere høretærskel ved lave frekvenser (dvs. ekstremt god hørelse). Selvom disse teorier har en vis støtte fra enkeltobservationer i litteraturen [2], [3], [4], er det i øjeblikket usikkert, hvor ofte dette fænomen forekommer.



Figur 1: Høretærsklen for frekvenser under 1 kHz. Den fuldt optrukne linie viser den standardiserede høretærskel [1], mens den stiplede linie viser en infralydstærskel baseret på de mest pålidelige data i litteraturen (fra review i [2] plus enkelte nyere data). Grunden til, at de to kurver ikke rammer hinanden præcist ved 20 Hz er, at de er baseret på tærskeldata fra forskellige undersøgelser.

En af de faktorer, som har stor betydning for, hvor generende en lyd er, er dens subjektive styrke, altså hvor kraftigt lyden opfattes. Hvor kraftigt en lyd opfattes, er afspejlet i de såkaldte hørestyrkekurver, som er vist i Figur 2. Hver af disse kurver viser lydtrykket for toner, som af øret opfattes som værende lige kraftige. Også her gælder det, at der er standardiserede data ned til 20 Hz [5] (de fuldt optrukne kurver), mens kurverne under 20 Hz (de stiplede kurver) er beregnet ud fra en række undersøgelser i litteraturen (review i [2]). Det ses, at hørestyrkekurverne ligger tættere på hinanden ved lave frekvenser, hvilket betyder, at små ændringer i lydstyrken giver relativt store ændringer af den subjektive styrke. Samtidig ligger hørestyrkekurverne tæt på høretærsklen ved lave frekvenser, hvilket betyder, at lyde ved disse frekvenser ikke skal ret højt op over høretærsklen, før de opfattes som kraftige.



Figur 2: Hørestyrkekurver for frekvenser under 1000 Hz. De fuldt optrukne linier viser standardiserede værdier [5], mens de stiplede linier er regressionslinier for data fra litteraturen (review i [2]). Grunden til, at kurverne ikke rammer hinanden præcist ved 20 Hz er, at de er baseret på data fra forskellige undersøgelser.

Lyde med frekvenser mellem 20 Hz og 200 Hz kaldes lavfrekvent lyd (nogle regner med en lidt lavere øvre grænse, for eksempel 160 Hz). Og som nævnt kaldes lyd med frekvenser under 20 Hz for infralyd. Når frekvensen kommer ned i infralydsområdet, ændrer lydets karakter sig markant. Det bliver muligt at høre de enkelte svingninger, tonaliteten forsvinder, og lyden medfører en ”trykken for ørerne” [6]. For infralyds vedkommende er det generelt accepteret, at den kan være generende, så snart den er hørbar [7], [8]. Hvor generende lavfrekvent støj er, varierer en del fra person til person. For nogle personer skal en lavfrekvent støj faktisk blot være hørbar, for at den er generende [9], mens andre personer accepterer kraftigere lyde. Lydens karakter har også betydning, for eksempel om den er tonal eller mere bredspektret, og om den fluktuerer eller ej.

1.2 Kilder til infralyd og lavfrekvent støj

Af naturlige kilder til infralyd og lavfrekvent støj kan nævnes tordenvejr, havbølger og vind. Menneskeskabt infralyd og lavfrekvent støj opstår ofte i forbindelse med maskiner med stempler (forbrændingsmotorer og kompressorer) eller blot med roterende dele (elmotorer, generatorer, ventilatorer). Ved bevægelse af store luftmængder og ved forbrænding kan der opstå turbulens, som også kan give infralyd og lavfrekvent støj.

Lyd fra maskiner med stempler eller roterende dele vil ofte have tonale komponenter, hvis grundfrekvens kan spores tilbage til omdrejningstal, stempelfrekvens, tandfrekvens i gearkasser eller lignende. I mange tilfælde vil disse frekvenser være helt eller delvist synkroniserede i et fast forhold til frekvensen på lysnettet (for eksempel køleskabe). Foruden grundfrekvensen er der som regel harmoniske overtoner højere oppe i frekvensspektret. Fordi menneskets øre ikke er så følsomt ved lave frekvenser, er det ofte de harmoniske overtoner, der høres, mens grundtonen ikke er hørbar.

Lyd fra bevægelse af store luftmængder og fra forbrænding vil som udgangspunkt være mere bredspektret, altså ikke-tonal. På grund af resonanser, for eksempel i ventilationskanaler, skorstene eller bygninger, vil der dog ofte være visse frekvensområder, som forstærkes, hvorved lyden alligevel kan få en vis tonal karakter, som regel dog med tydelige fluktuationer.

Både kraftvarmeværker og vindmøller indeholder en række potentielle kilder til lavfrekvent støj og infralyd af såvel tonal karakter (motorer, gear) som ikke-tonal karakter (brændere, luftstrøm omkring vinger). Denne rapport vil i øvrigt ikke gå nærmere ind på, hvordan en eventuelt konstateret støj opstår og udbreder sig.

2 Regler og grænseværdier for infralyd og lavfrekvent støj

Miljøstyrelsen har lavet en orientering om måling og vurdering af lavfrekvent støj [10]. Dette afsnit indeholder en sammenfatning af de vigtigste punkter fra denne.

2.1 Baggrundsstøj og måleperioder

For at undgå forstyrrelser fra potentielle støjklender i huset, som for eksempel kompressorer (køleskabe, fryserer), pumper (fjernvarme) etc., skal man slukke for disse, medmindre - naturligvis - det netop er dem, der giver anledning til gene.

Meteorologiske forhold som vindstyrke og vindretning, regn etc. kan også forstyrre målingerne, så målingerne skal laves, når det vurderes, at disse forhold ikke vil påvirke måleresultaterne. (Dette giver dog et praktisk problem ved målinger af støj fra vindmøller, eftersom vindmøllestøjen skal måles under normale driftsforhold).

For at få sikre målinger af støjen fra specifikke støjklender, skal man – hvis det er muligt - lave støjmålinger, både hvor støjklenden kører ved normal drift, og hvor støjklenden er slukket. Herved får man bedst mulighed for at bedømme hvilke støjbidrag, som kommer fra den specifikke støjkilde, og hvilke bidrag, som stammer fra andre klender.

Målingerne bør ske over et tidsrum på 10 minutter, mens støjen er kraftigst.

2.2 Målepositioner

Der skal måles indendørs i mindst 3 punkter, som alle skal være 1-1.5 meter over gulvet. Et af målepunkterne skal være i et hjørne (dog 0.5-1.0 m fra væggene), mens de øvrige punkter skal være på repræsentative steder i opholdsarealerne. Hvis klageren kan udpege punkter, hvor støjen er særligt generende, skal der måles i disse. For rum under ca. 20 m² er det nok at måle i 2 punkter, som så skal være i to forskellige hjørner. Alle punkter skal være mindst 0.5 m fra vægge og større møbler. De ækvivalente lydtryk for de forskellige punkter skal energimidles og resultatet sammenlignes med grænseværdierne.

2.3 Grænseværdier

I orienteringen er foreslået grænseværdier for infralyd og lavfrekvent støj. Hvis en af disse overskrides, finder Miljøstyrelsen det ”sandsynliggjort, at der foreligger en væsentlig støjulempe” [10].

For infralyds vedkommende er grænseværdien for beboelsesrum, kontorer, undervisningsrum og andre lignende støjfølsomme rum et G-vægtet lydtryk på 85 dB. For øvrige rum i virksomheder er grænseværdien et G-vægtet lydtryk på 90 dB. Begge disse grænser gælder på alle tidspunkter af døgnet.

For frekvensområdet 10-160 Hz er grænsen angivet i form af det A-vægtede niveau af lyd indenfor frekvensområdet, skrevet som $L_{pA,LF}$. For beboelsesrum er grænsen 20 dB om aftenen og natten (kl. 18-07) og 25 dB om dagen (kl. 07-18). For kontorer, undervisningsrum og andre lignende

støjfølsomme rum er grænsen 30 dB og for øvrige rum i virksomheder 35 dB, begge grænser gældende hele døgnet.

Hvis støjen er impulsagtig reduceres alle grænserne med 5 dB.

3 Supplerende målinger og kommentarer til Miljøstyrelsens vejledning

Dette afsnit indeholder Afdeling for Akustiks anbefalinger til supplerende målinger af lavfrekvent støj i rum, samt kommentarer til Miljøstyrelsens vejledning angående målepositioner og grænseværdier.

3.1 Målepositioner

For at opnå lavfrekvensstøjmålinger, der er repræsentative for den lyd, som eksisterer i et rum, er det ikke ligegyldigt, hvor man placerer mikrofonerne. Refleksioner fra vægge, gulv og loft vil interferere og dermed give stående bølgemønstre i hele rummet. Dette er især et problem, hvis støjen indeholder toner, da disse vil variere meget i styrke, alt efter hvor i rummet man befinder sig. Toner med forskellig frekvens vil give forskellige bølgemønstre. Det er derfor vigtigt at vælge målepositionerne med omhu, så man ikke risikerer at placere mikrofonen i punkter, hvor den generende lyd er meget lav. Da det er de højeste niveauer, personerne bliver udsat for, som medfører mest gene, gælder det netop om at finde punkter med disse niveauer. Det kunne man gøre ved at bevæge en mikrofon langsomt gennem rummet, mens man kigger på en frekvensanalyse, men dette er meget tidskrævende og derfor ikke praktisk anvendeligt. Målevejledninger fra forskellige lande (f.eks. [10], [11], [12]) bruger derfor mere end ét målepunkt og mindst ét hjørnepunkt, idet hjørnepunkter ofte indeholder maksima for standbølgemønstre. Dog har de fleste vejledninger, heriblandt den danske, kun hjørnepunkter i afstande på 0.5-1.0 meter fra væggene. Eftersom standbølgemønstre typisk har lokale minima i en afstand af $\frac{1}{4}$ bølgelængde fra hårde reflekterende flader, er der risiko for, at frekvenser i området 85-170 Hz har lokale minima i disse punkter (alt efter den valgte afstand). Desuden betyder kravet om en højde på 1.0-1.5 meter fra gulvet i den danske vejledning, at frekvenser i området 55-85 Hz nemt kan blive målt for lavt. At afstanden til loftet ofte vil være i samme størrelsesorden som afstanden til gulvet, gør det kun værre. Afstandene til vægge og gulv/loft betyder altså, at der ikke reelt er tale om hjørnepunkter set i forhold til et lydfelt i det lavfrekvente område. I resten af denne rapport benyttes udtrykket *hjørne* kun i forbindelse med ægte tre-dimensionelle hjørner (helt ud i hjørnet mellem to vægge og loft eller gulv).

Det vides ikke hvor stort problemet med stående bølger er i praksis, men teoretisk kan det være et stort problem. Afdeling for Akustik har derfor anbefalet, at målingerne iht. Miljøstyrelsens vejledning [10] suppleres med målinger i ægte hjørnepunkter. Det kan synes lidt mærkeligt at måle i et hjørne, hvor personer normalt ikke vil opholde sig, men i hjørnerne har man større chance for at finde de højeste niveauer for de enkelte frekvenskomponenter og undgå at "overse" bestemte frekvenser. Man ved ikke med sikkerhed, om niveauerne fra hjørnerne også findes ude i rummet, men der er teoretiske grunde til at tro, at det kan være tilfældet. Hvis der for eksempel er tale om en stående bølge i rummets længderetning, reflekteret fra endevæggen, vil det høje tryk, som kan måles i hjørnerne på endevæggen genfindes ude i rummet i en afstand af et helt antal halve bølgelængder fra endevæggen. Hvis bølgelængden er så lang, at disse gentagelser af det høje tryk ikke findes inden for rummets dimensioner, vil det høje tryk på endevæggen til gengæld brede sig langt ud i rummet. Uanset frekvensen findes det høje tryk altså ikke kun på endevæggen, men også i rummets opholdsarealer. Forholdene er naturligvis mere komplicerede med stående bølger i tre dimensioner. En undersøgelse af disse forhold i praksis er i gang [13].

Et rektangulært rum har otte tre-dimensionelle hjørnepunkter, og man kan ikke forvente maksimum i alle hjørnerne for alle frekvenser. Det vil typisk være sådan, at nogle frekvenser har maksimum i nogle hjørner, mens andre frekvenser har maksimum i andre hjørner. For at begrænse målingernes omfang, blev de supplerende målinger lavet i tre tilfældige af de ”ægte” hjørner. Det blev desuden anset for tilstrækkeligt med målinger på fem minutter i disse punkter. De supplerende målinger blev lavet i 9 ud af de 11 målerapporter.

Målingerne blev foretaget med én mikrofon, så de forskellige positioner blev målt i forskellige tidsrum. Selvom det tilstræbes, at målebetingelserne er ens i alle måleperioder, er der en risiko for, at støjen ændrer sig lidt mellem målingerne. Dette gælder især, hvis der er meget baggrundsstøj. Til meget præcise sammenligninger af lyden i de forskellige målepositioner havde det været en fordel at bruge et flerkanals målesystem med flere mikrofoner, så målingerne i de forskellige positioner blev foretaget samtidigt. Herved fås det bedste overblik over lydfeltet i det pågældende rum.

3.2 Grænseværdier

Den gennemsnitlige høretærskel for infralyd ligger - nogenlunde uafhængigt af frekvensen - på et G-vægtet niveau omkring 95 dB. Miljøstyrelsens grænseværdi på 85 dB ligger dermed cirka 10 dB under den gennemsnitlige høretærskel. Hvis grænsen er overholdt, vil der altså højst være 2-3% af befolkningen, der vil kunne høre den pågældende lyd (se afsnit 1.1). En del flere vil kunne høre infralyd ved 90 dB grænsen. Rapportens forfattere finder umiddelbart grænserne rimelige, selvom det naturligvis er et argument for endnu lavere grænser, at infralyd kan være generende, blot den er hørbar. (Det er i øvrigt indtil videre forfatterens erfaring, at infralyden i boliger næsten altid ligger langt under grænsen).

Det kan derimod diskuteres, om det er hensigtsmæssigt at bruge A-vægtningskurven som grundlag for vurdering af gener for frekvensområdet 10-160 Hz. For det første bør A-vægtning ikke bruges under 20 Hz, da minimumstolerancen for måleudstyr ikke er specificeret under 20 Hz [14]. For det andet er der ikke påvist nogen direkte sammenhæng mellem støjgener og A-vægtning for dette frekvensområde. Tværtimod er der i mange tilfælde fundet en dårlig sammenhæng (se f.eks. [15], [16], [17], [18], [19]). En nylig laboratorieundersøgelse [20] har dog vist en god sammenhæng mellem støjgener og $L_{pA,LF}$ værdien, men personer rapporterede stadig en vis grad af gene, selv når grænsen ikke var overskredet.

Som beskrevet i afsnit 1.2 er lavfrekvent støj generende for nogle personer, når blot den er hørbar, mens andre personer accepterer kraftigere støj. Målingerne i denne rapport vil derfor også blive vurderet i forhold til den normale høretærskel op til 200 Hz.

4 De udførte analyser

I denne rapport angives i tabelform de ækvivalente niveauer, $L_{pA,LF}$ og L_{pG} for de 10 minutters måleperioder (5 minutter for de supplerende målepunkter), sådan som de blev beregnet af Elsam Engineerings måleprogram. Som udgangspunkt har beregningerne været lavet for hele måleperioden, men korte perioder med forstyrrelser fra tydeligt uvedkommende støjkluder er udeladt. For at støtte vurderingerne af potentielle støjgener, er der suppleret med mere detaljerede analyser af de rå lyddata. I nogle tilfælde er der desuden lyttet til lyden – evt. forstærket i forhold til optageniveauet – for at vurdere støjens subjektive karakter. Elsam Engineering har kun i et enkelt tilfælde lavet målinger, hvor det el-producerende anlæg er standset. Derfor er det for de fleste tilfælde ikke muligt med sikkerhed at sige, at den målte støj kommer fra anlægget.

4.1 Spektrogram med tærskelvægtning

Den ene detaljerede analyse, som anvendes, er et spektrogram, der viser støjens frekvensindhold som funktion af tiden. Spektrogrammerne er vist med en tidsopløsning på 1 sekund og en frekvensopløsning på 1 Hz. En fordel ved spektrogrammerne er, at de viser, hvis støjen varierer med tiden. De kan også give en idé om, hvilke frekvenskomponenter, der hører til støjen, og hvilke komponenter, der stammer fra forstyrrende lyde som f.eks. passerende biler. Yderligere kan impulsive lyde, som f.eks. en smækkende dør meget nemt identificeres, da de danner en lodret streg gennem hele frekvensområdet for det pågældende tidspunkt.

Niveauerne i spektrogrammerne er vægtet i forhold til den normale høretærskel, så farverne indikerer, hvor hørbare de forskellige frekvenskomponenter kan forventes at være, og ikke hvor kraftige de er rent fysisk. Bemærk, at farveskalaen kun differentierer mellem niveauer fra 30 dB under til 10 dB over den normale høretærskel. Mere end 10 dB vil være hvidt, mens mindre end -30 dB er sort i spektrogrammet. Hvis nogle frekvenskomponenter ikke er rene toner, eller hvis de varierer lidt i frekvens resulterer det i ”grumsede” vandrette bånd.

4.2 1/3-oktavbåndsanalyse

Hvis der er flere toner i nærheden af hinanden, får man en bedre vurdering af deres samlede hørbare ved at kigge på en 1/3-oktavbåndsanalyse, som er plottet sammen med den normale høretærskel. Denne form for analyse skal så vidt muligt kun laves på uforstyrrede måleperioder, da man her ikke har mulighed for at ”opdage” forstyrrelserne og se bort fra dem - f.eks. vil en kortvarig impuls fra en smækkende dør påvirke alle de forskellige frekvensbånd, uden at man kan se på resultatet, at en del af energien skyldes impulsen.

Analyseperioden bør være så lang som muligt og som minimum i størrelsesordenen 30 sekunder for at have et repræsentativt antal svingningsperioder for frekvenser ned til 1 Hz. Perioderne er valgt som repræsentative og uden forstyrrelser ud fra spektrogrammerne, og start- og sluttidspunkterne er markeret i toppen af disse. (Bemærk, at 1/3-oktavanalyserne dermed ikke dækker den samme tidsperiode, som Elsam Engineering har anvendt til beregningen af de ækvivalente niveauer, $L_{pA,LF}$ og L_{pG} , for hele måleperioden).

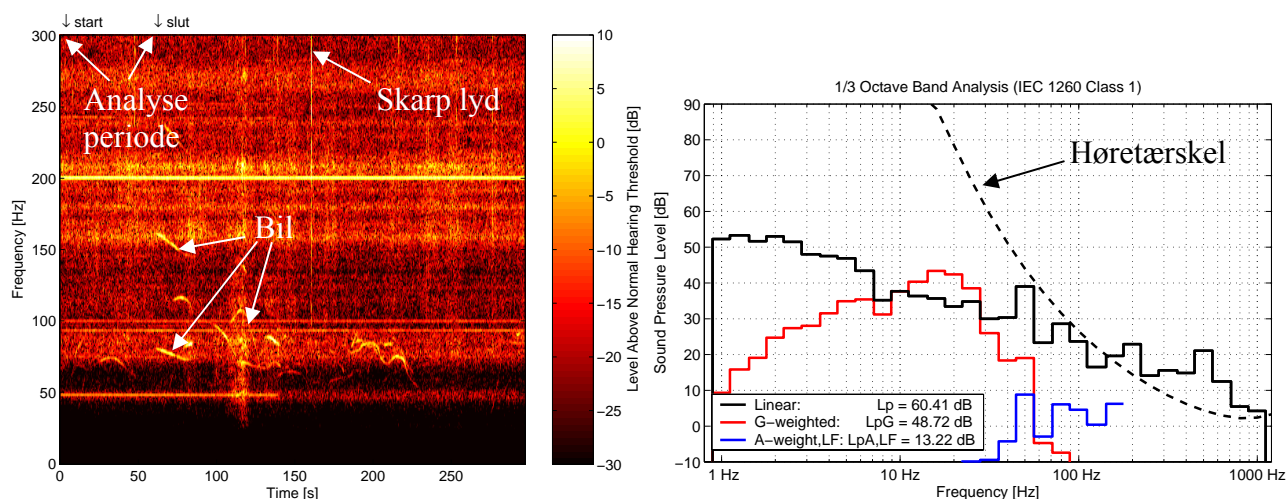
4.3 Egenstøj i måleudstyret

Elsam Engineering har ikke redegjort for støjgulvet i det anvendte måleudstyr, dvs. hvor lave lydtryk, det kan måle. De har anvendt en 1/2-tomme mikrofon og tilhørende forforstærker, som typisk har en A-vægtet egenstøj på 15 dB. Det er vores vurdering, at nogle af de målte værdier ved de højeste 1/3-oktavfrekvenser skyldes egenstøj i mikrofon og forforstærker. Selvom der måles niveauer lidt over høretærsklen ved eksempelvis 800 og 1000 Hz, betyder det altså ikke nødvendigvis, at der er hørbar lyd ved disse frekvenser. Det er vores vurdering, at måleudstyrets egenstøj ikke har haft indflydelse på resultaterne ved frekvenserne for lavfrekvent støj og infralyd.

4.4 Eksempel på spektrogram og 1/3-oktavbåndsanalyse

Figur 3 viser et eksempel af de anvendte analyser fra målerapport 185790 måleposition 6. Det ses på spektrogrammet til venstre, at der findes en kraftig og hørbar 200 Hz tone, som er konstant over hele måleperioden. Der er også to konstante toner omkring 100 Hz. Det ses yderligere, at der er en forholdsvis kraftig 50 Hz tone, som pludselig bliver meget svagere omkring 145 sekunder henne i måleperioden. Omkring 110-120 sekunder forstyrres det meste af frekvensområdet af noget, som ved gennemlytning kan identificeres som en passerende bil. Der forekommer flere steder kortere episoder med enkelte varierende frekvenskomponenter, som formodentlig også stammer fra biler. Omkring 160 sekunder kan man lige netop se en kort skarp lyd. En gennemlytning afslører en lyd, som om nogen sætter noget fra sig eller lignende.

Til højre ses 1/3-oktavbåndsanalysen af den valgte tidsperiode. Den sorte linje viser indholdet i de forskellige 1/3-oktaver uden frekvensvægtning, de røde og blå linier 1/3-oktavniveauerne henholdsvis G-vægtet og A-vægtet (op til 160 Hz). På baggrund af disse niveauer er L_p , L_{pG} og $L_{pA,LF}$ beregnet og vist i venstre hjørne af figuren. Den stiplede linje markerer den normale høretærskel. Ved at sammenligne de uvægtede 1/3-oktavbånd med høretærsklen fås en god indikation af, om frekvenskomponenterne i det pågældende bånd er hørbare. Det ses i dette tilfælde, at 200 Hz båndet ligger betydeligt over den normale høretærskel. Det samme gælder for nogle af de højere frekvenser.



Figur 3: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 6. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.

5 Vurdering af de enkelte målinger

Dette afsnit indeholder beskrivelser, måledata og vurderinger af hver enkelt måling.

5.1 Målerapport 172444

5.1.1 Beskrivelse

Måling af lavfrekvent støj og infralyd i et kontor i en ejendom omgivet af 8 vindmøller i en afstand af 90-700 m (se tabellen).

Nummer	Ydelse [MW]	Afstand til ejendom [m]
1	1	ca. 675
2	2.5	430
3	2	90
4	2	420
5	2.75	ca. 700
6	2.75	470
7	2.75	200
8	2.75	450

Vindhastigheden varierede mellem 5.4 og 7.8 m/s med en middelvind på 6.6 m/s, og vindens hastighedskomponent fra fire af vindmøllerne (3, 4, 7 og 8) i retning mod ejendommen var positiv under målingerne, mens den var negativ for de fire andre (1, 2, 5 og 6).

Der blev foretaget målinger i tre situationer:

1. Samtlige otte møller i drift.
2. De to nærmeste møller (3 og 7) er standset.
3. Samtlige otte møller er standset.

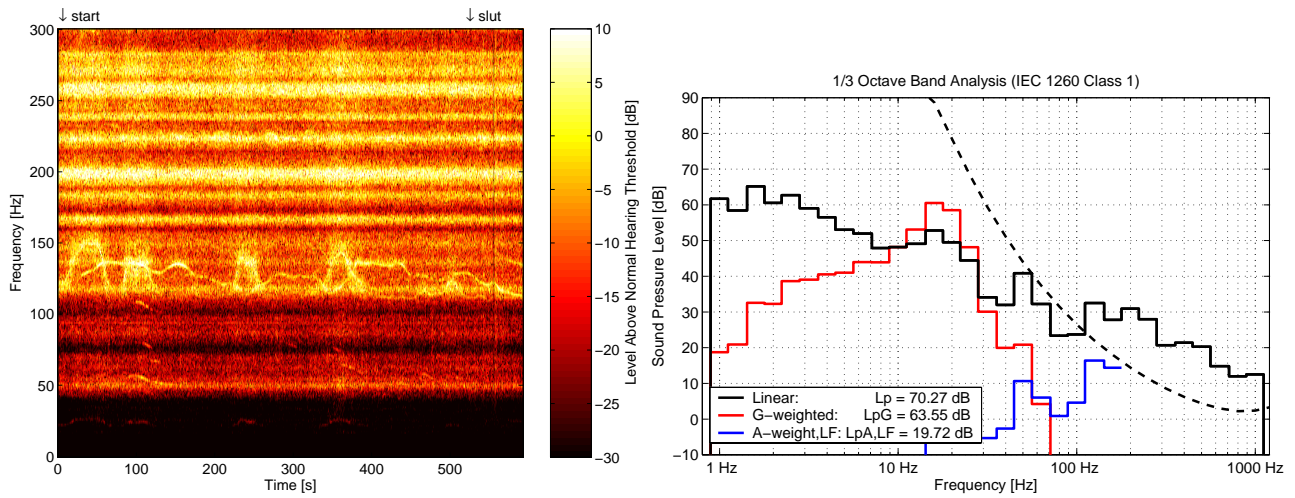
5.1.2 $L_{pA,LF}$ og L_{pG} for de hele måleperioder

Tabellen viser de frekvensvægtede ækvivalente lydtryk for lyden i de forskellige målepositioner og situationer. Positionerne er valgt iht. miljøstyrelsens vejledning

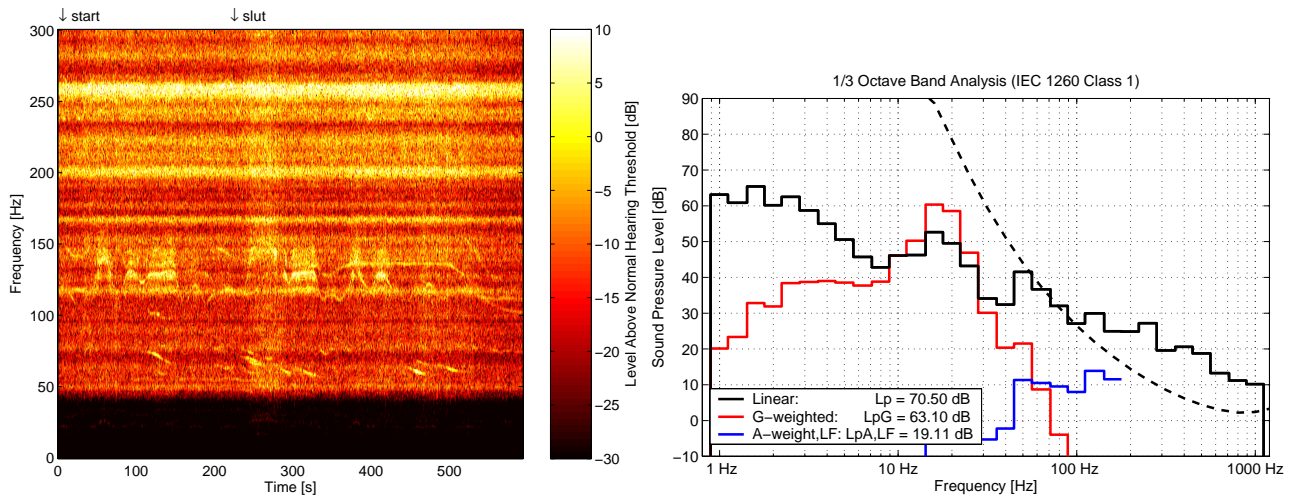
Situation	A-vægtet lydtryksniveau (10-160 Hz) $L_{pA,LF}$ [dB]				G-vægtet lydtryksniveau L_{pG} [dB]			
	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Energi-middel	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Energi-middel
1	19.8	19.9	18.8	19.5	63.8	63.6	64.0	63.8
2	12.0	14.3	11.0	12.7	56.1	57.5	58.8	57.6
3	8.7	8.9	4.4	7.8	51.3	51.1	49.3	50.7
1*	19.4	19.5	18.6	19.2	63.5	63.3	63.9	63.6
2*	9.3	12.8	9.9	11.0	54.4	56.4	58.3	56.6

* niveauer korregeret for den baggrundsstøj, som er målt i situation 3.

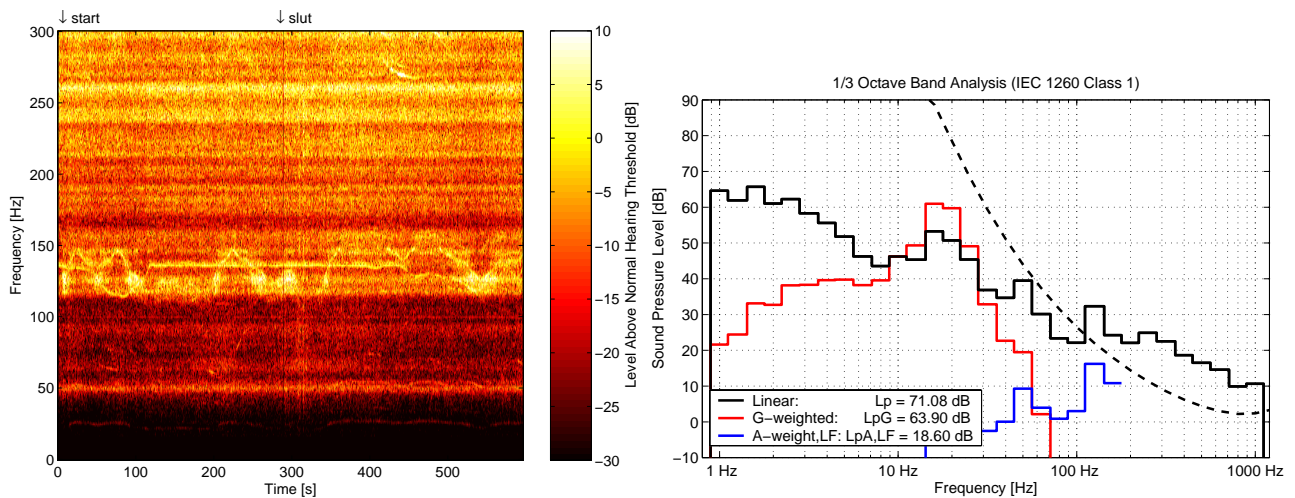
5.1.3 Detaljerede analyser



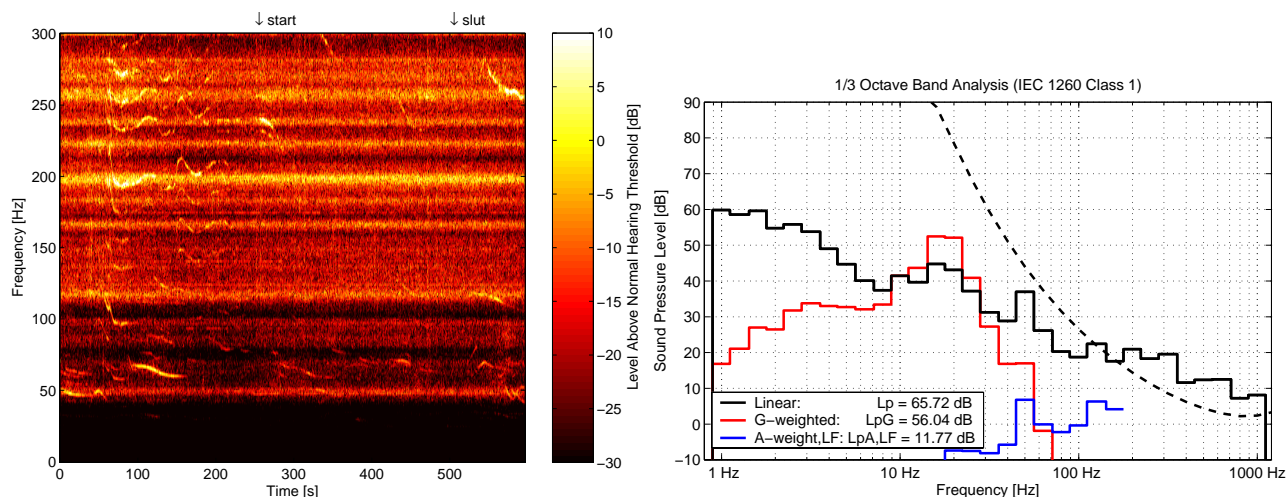
Figur 4: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 1 for situation 1 (samtlige møller i drift). Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



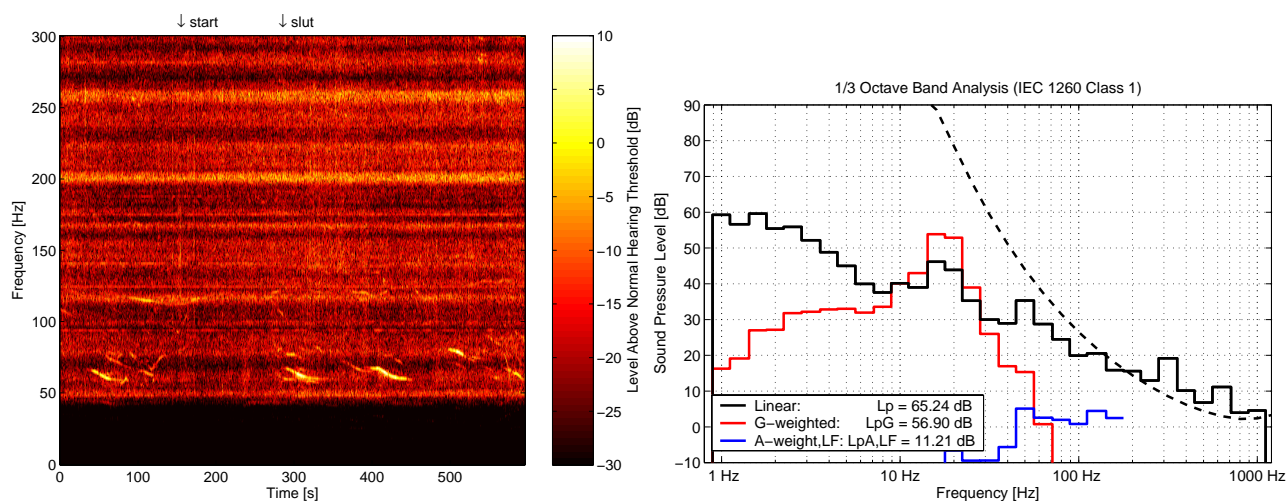
Figur 5: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 2 for situation 1 (samtlige møller i drift). Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



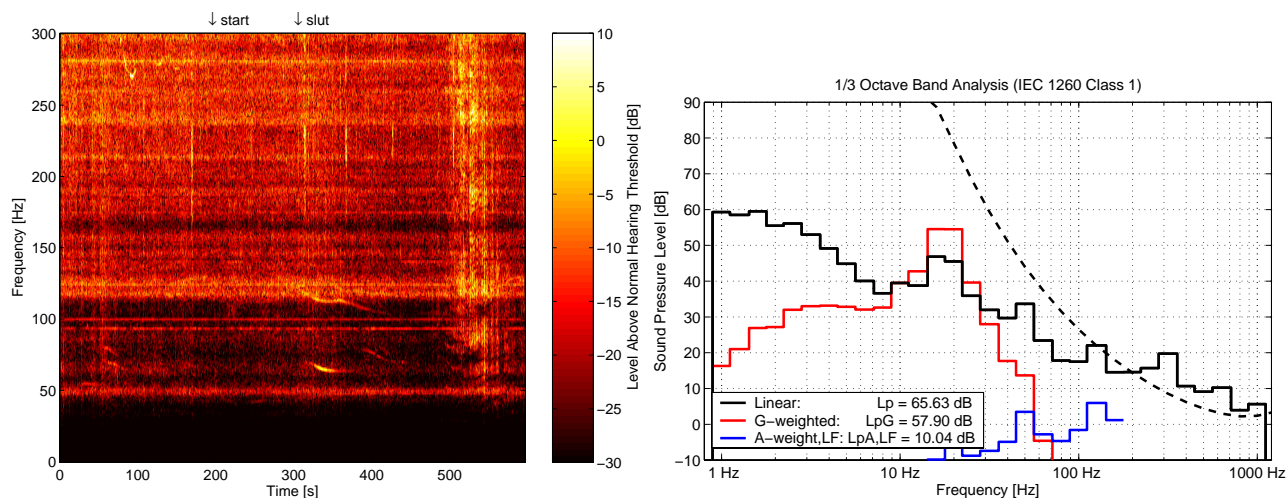
Figur 6: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 3 for situation 1 (samtlige møller i drift). Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



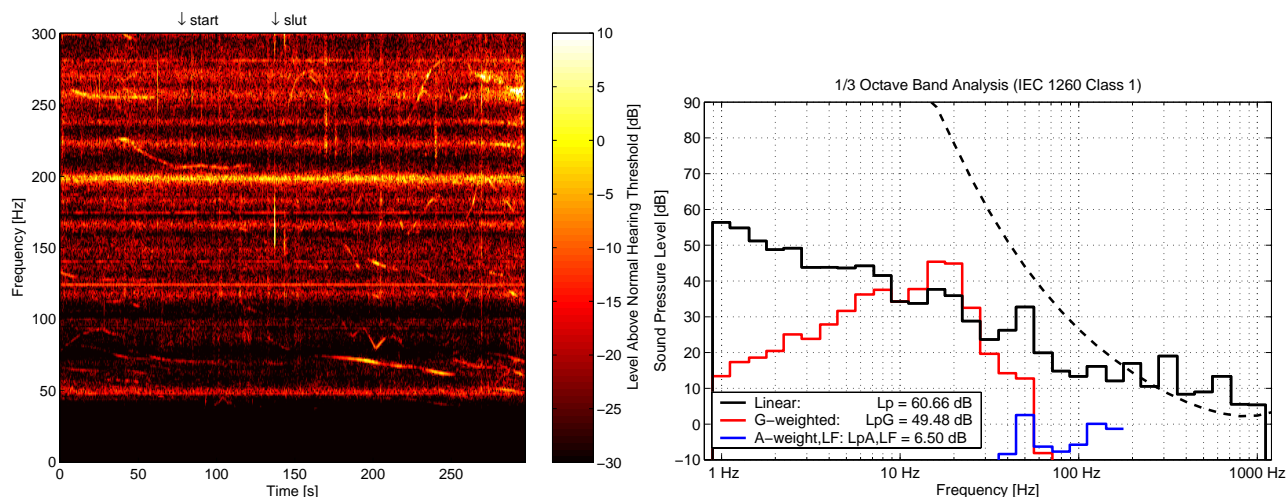
Figur 7: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 1 for situation 2 (to nærmeste møller standset). Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



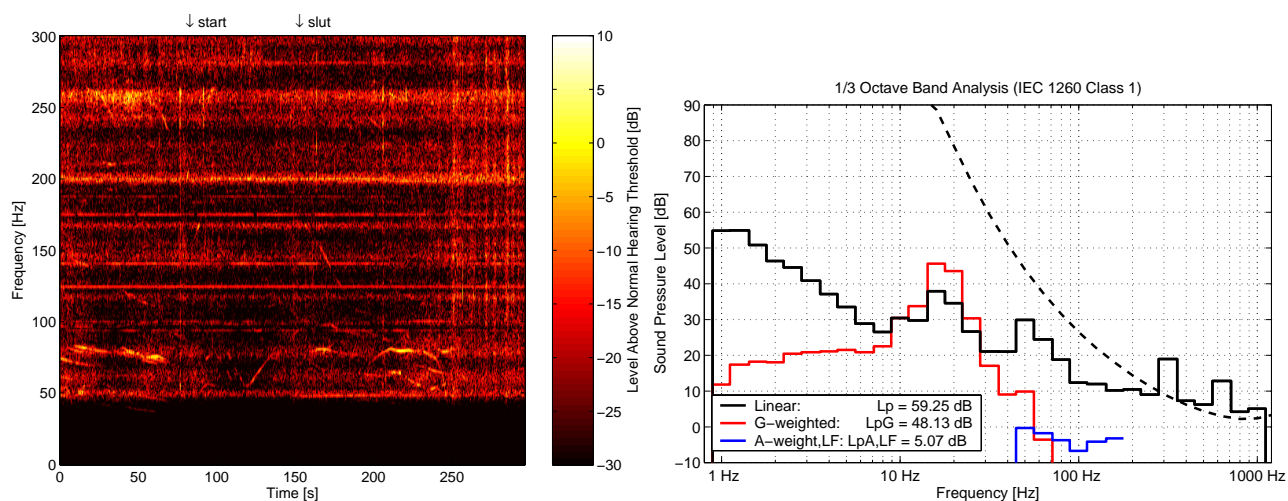
Figur 8: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 2 for situation 2 (to nærmeste møller standset). Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



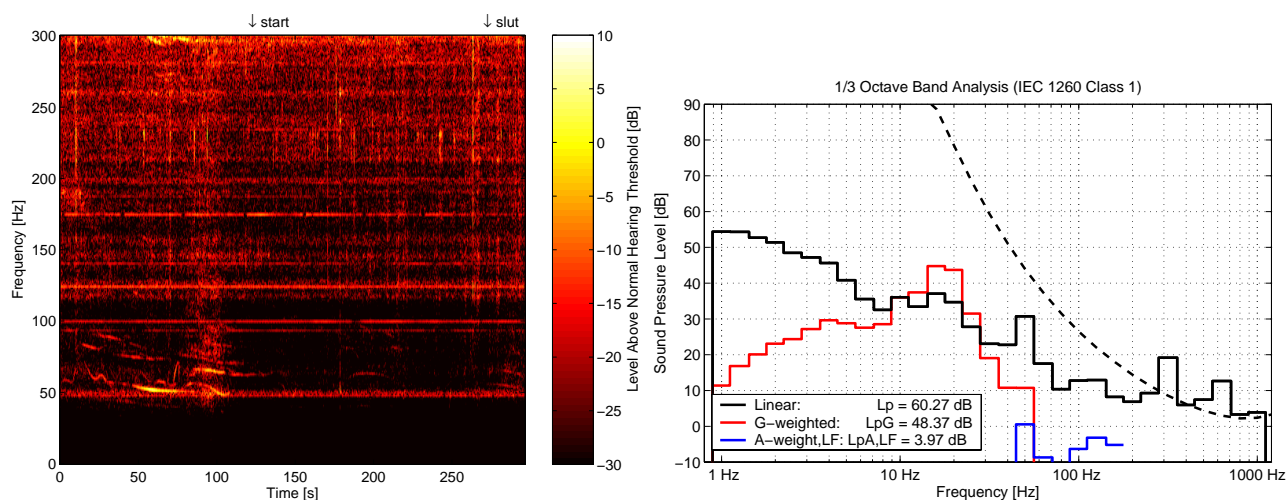
Figur 9: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 3 for situation 2 (to nærmeste møller standset). Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 10: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 1 for situation 3 (alle møller standset). Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 11: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 2 for situation 3 (alle møller standset). Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 12: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 3 for situation 3 (alle møller standset). Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.

5.1.4 Vurdering af støjen med henblik på potentielle støjgener.

I alle situationerne ligger L_{pG} langt under grænseværdien, og det vurderes, at der ikke vil være gener på grund af infralyd. $L_{pA,LF}$ ligger også under grænseværdien, som for den aktuelle anvendelse (kontor) er på 30 dB. Havde der været tale om beboelse, ville støjen i situation 3 (alle møller kørende) ligge lige omkring grænseværdien, såfremt den forekom aften eller nat. Med de to nærmeste møller standset, ligger støjen noget under grænsen, selv for beboelse aften og nat.

Det ses ud fra alle figurerne (Figur 4-Figur 12), at der findes kraftige frekvenskomponenter i 16 og 20 Hz 1/3-oktavbåndene, men niveauet ligger dog i alle tilfælde betydeligt under den normale høretærskel. I **situation 1** (alle møller kørende, Figur 4-Figur 6) er der en del støj ved frekvenser fra 50 Hz og opefter. Spektrogrammet er karakteriseret ved nogle brede vandrette bånd, som skyldes toner, der varierer i styrke og/eller frekvens. En gennemlytning afslører, at lyden har en ”skurrende” karakter. I området 50-100 Hz ligger støjen omkring høretærsklen i måleposition 2 og lidt under i de to andre målepositioner. Niveauet er over høretærsklen i 1/3-oktavbåndene fra 125 Hz og opefter i alle målepositionerne, og støjen vil formodentlig være generende for de fleste, i hvert fald hvis der var tale om beboelse.

Når de to vindmøller nærmest huset er standset (**situation 2**), bliver den skurrende lyd meget svagere, og det fremgår af såvel spektrogrammerne som 1/3-oktavanalyserne i Figur 7-Figur 9, at niveauet ligger noget lavere. Det ligger kun tydeligt over høretærsklen fra 200 Hz og opefter, og det er formodentlig de færreste, der vil høre og være generet af den lavfrekvente støj i dette tilfælde. Når alle møller er standset (**situation 3**, Figur 10-Figur 12) falder niveauet yderligere, og det ligger en del under høretærsklen i alle målepositionerne op til 160 Hz. Men der er stadig en del tydelige toner, som jo må komme fra andre kilder. I måleposition 1 er der en hørbar tone ved 200 Hz, som måske kan genere enkelte personer. Det bemærkes i øvrigt, at nogle af tonerne er blevet mere ”rene” med mindre variationer i styrke og frekvens.

På grundlag af den tydelige forskel på resultaterne i de tre situationer, kan man regne med, at det meste af støjen i situation 1, bl.a. den skurrende lyd, kommer fra de to nærmeste møller, mens det meste af støjen i situation 2 kommer fra de seks møller længere væk. Man kan derfor konkludere, at de to nærmeste møller laver så meget lavfrekvent støj, at de fleste vil være generet heraf, mens de seks møller, som er længere væk end ca. 400 m, formodentlig kun vil genere få. Da der ikke er lavet målinger i hjørnepositioner, må denne konklusion tages med forbehold, idet der er en risiko for, at der findes kraftigere lyd, end målingerne viser – og evt. andre lyde – andre steder i rummet.

5.2 Målerapport 179467

5.2.1 Beskrivelse

Måling af lavfrekvent støj og infralyd i et værelse i en bolig beliggende 525 m fra en 750 kW vindmølle. Vindhastigheden varierede mellem 5.1 og 7.5 m/s med en middelvind på 6.0 m/s, og vindens hastighedskomponent fra vindmøllen i retning mod huset var positiv under målingerne.

5.2.2 $L_{pA,LF}$ og L_{pG} for de hele måleperioder

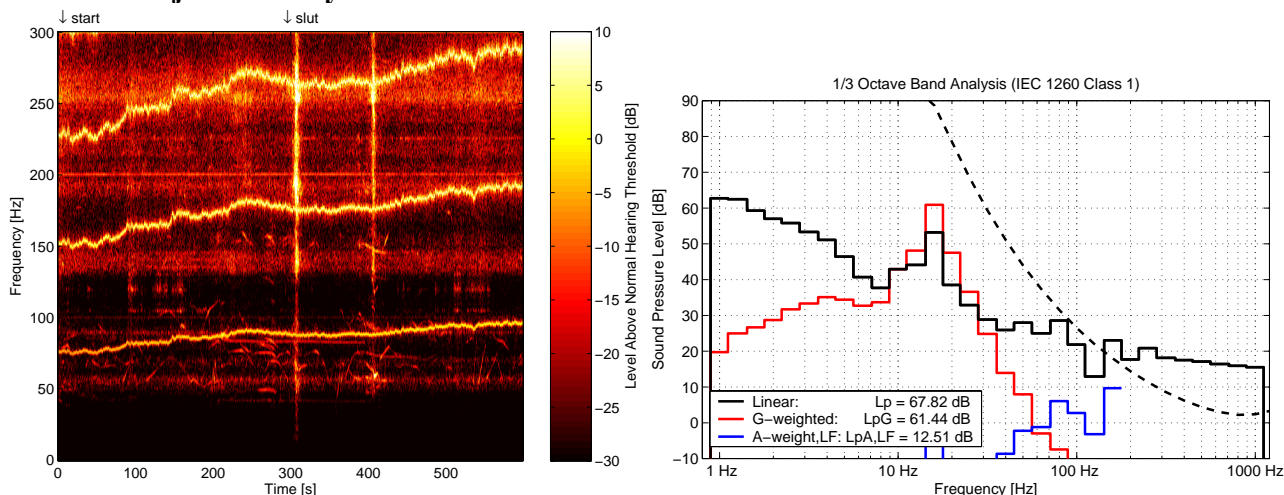
Tabellen viser de frekvensvægtede ækvivalente lydtryk for lyden i de forskellige målepositioner. Position 1-3 er fundet iht. miljøstyrelsens vejledning, mens position 4-6 er i hjørner.

A-vægtet lydtryksniveau (10-160 Hz) $L_{pA,LF}$ [dB]				G-vægtet lydtryksniveau L_{pG} [dB]			
Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Energi-middel	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Energi-middel
11.9	6.0	9.0	7.8*	59.8	57.3	57.1	57.2*
Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6	Energi-middel	Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6	Energi-middel
16.3	16.9	14.8	16.1**	59.6	57.0	58.1	58.4**

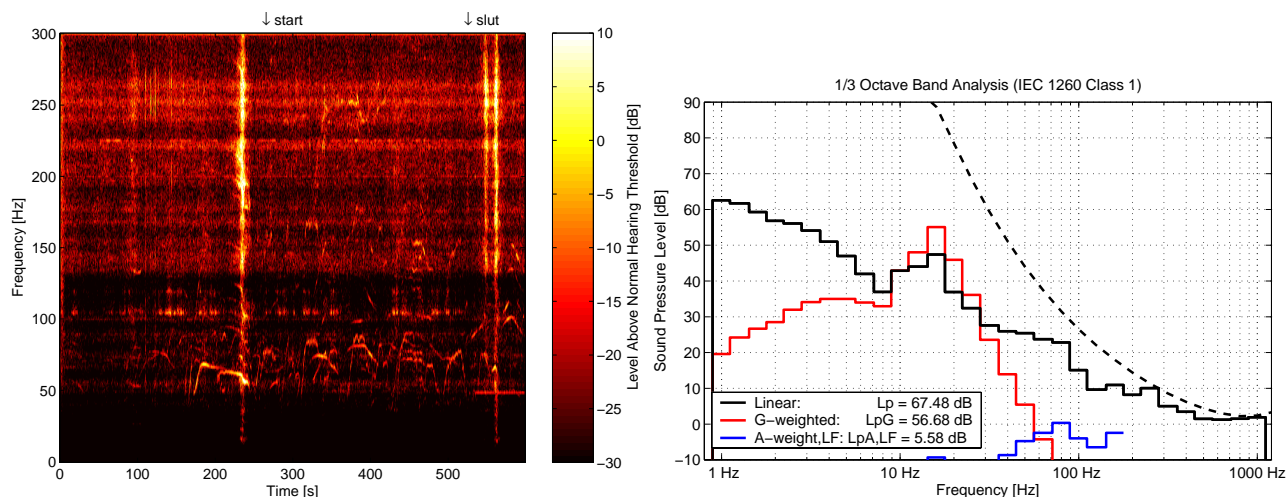
* rettet i forhold til tallene i Målerapport 179467 (position 1 ikke medtaget),

** regnefejl rettet i forhold til tallene i Målerapport 179467

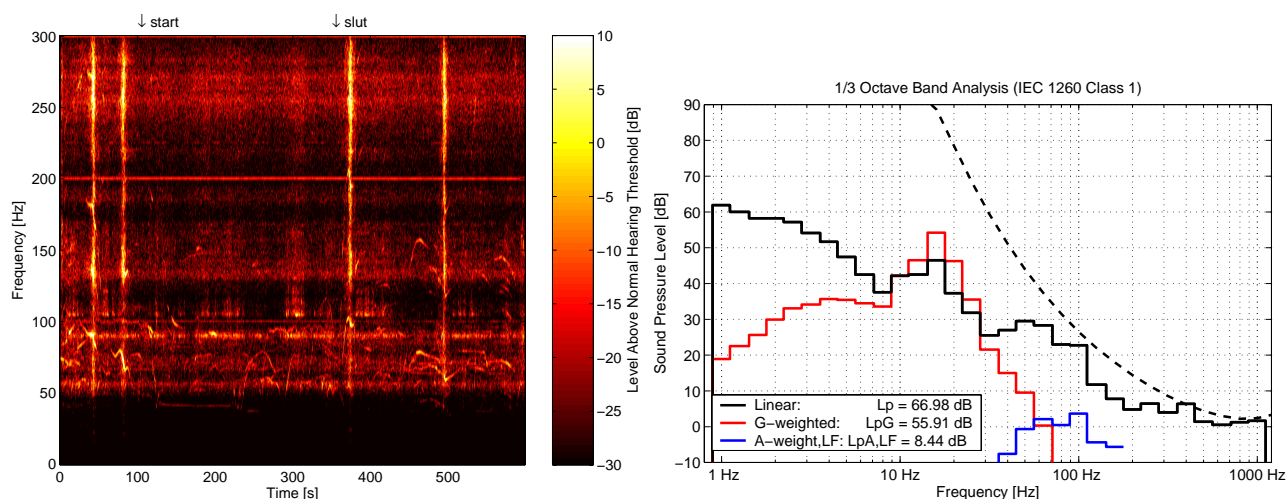
5.2.3 Detaljerede analyser



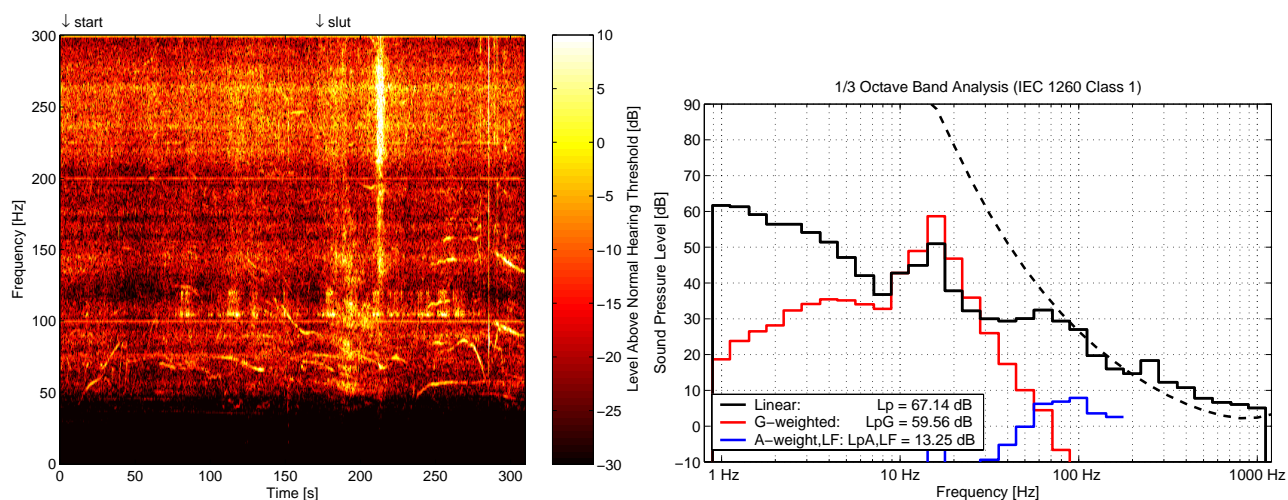
Figur 13: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 1. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



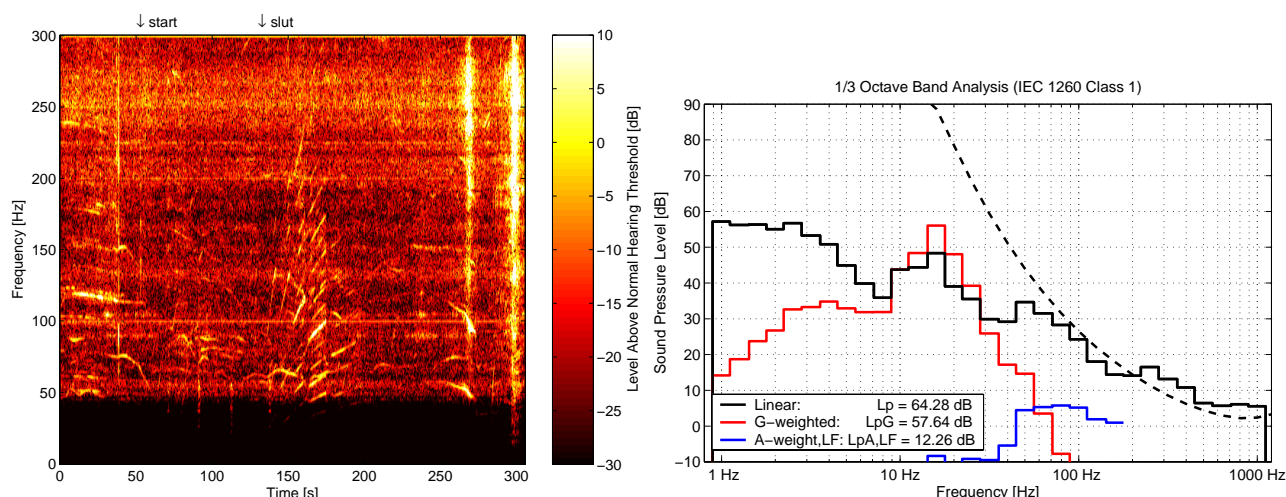
Figur 14: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 2. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



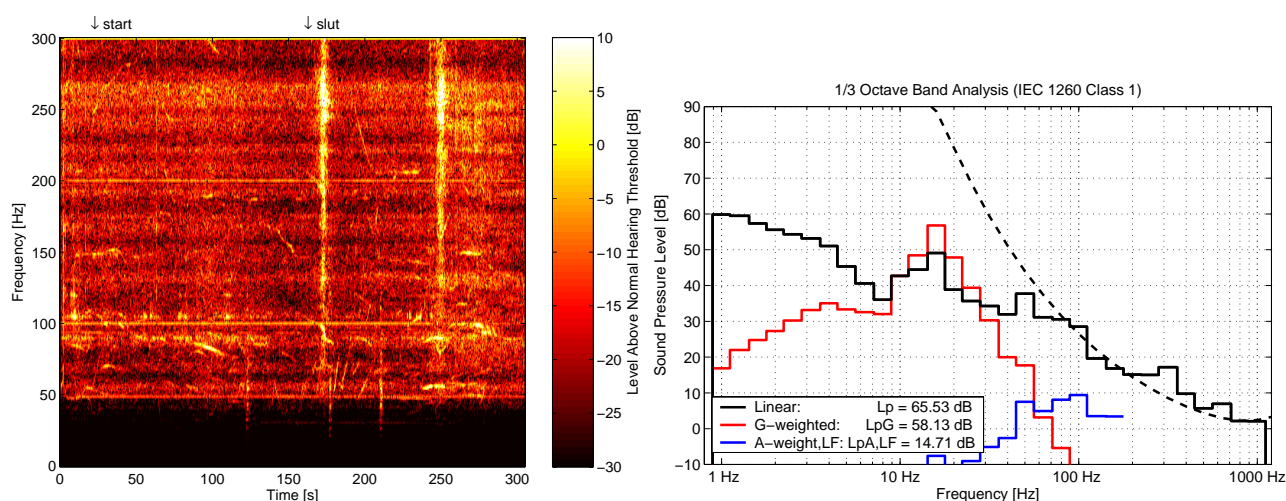
Figur 15: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 3. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 16: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 4. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 17: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 5. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 18: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 6. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.

5.2.4 Vurdering af støjen med henblik på potentielle støjgener.

Det ses ud fra Figur 13, at der er en mærkelig støj i position 1 med masser af harmoniske overtoner. Støjen lyder meget unaturlig, ikke som nogen af de andre målinger og ikke som en fysisk lyd. Det antages, at der er tale om elektronisk støj i udstyret eller en anden form for fejl. Derfor vil data fra position 1 ikke blive medtaget i vurderingen og energimidlingen er korrigeret, så den ikke medtager dette punkt.

L_{pG} ligger langt under grænseværdien, og det vurderes, at der ikke vil være gener på grund af infralyd. $L_{pA,LF}$ ligger også under grænseværdien, som i dette tilfælde, hvor der er tale om en bolig, er 20 dB, hvis lyden forekommer om aftenen eller natten.

En sammenligning af Figur 14 og Figur 15 med Figur 16, Figur 17 og Figur 18 viser tydeligt, at der er flere frekvenskomponenter, som er væsentligt lavere i målepositionerne iht. Miljøstyrelsen (positionerne 2 og 3) end i hjørnerne (positionerne 4-6). Miljøstyrelsens målepositioner 0.5-1 m fra væggene er her især uheldige i forhold til 100 Hz tonen, som næsten forsvinder i positionerne 2 og 3. I 1/3-oktavbåndene fra 80 Hz og opefter er der i hjørnerne niveauer, som ligger omkring eller

over høretærsklen. Såfremt lignende niveauer også findes ude i rummet, vil lyden formodentlig genere enkelte personer.

5.3 Målerapport 180314

5.3.1 Beskrivelse

Måling af lavfrekvent støj og infralyd i en stue i en bolig med fire 600 kW vindmøller placeret syd for huset, med den nærmeste i en afstand af ca. 400 m. Der findes dog også flere vindmøller i området syd, sydøst og øst for huset. Vindhastigheden varierede mellem 5.4 og 7.6 m/s med en middelvind på 6.5 m/s, og vindens hastighedskomponent fra vindmøllerne i retning mod huset var positiv under målingerne.

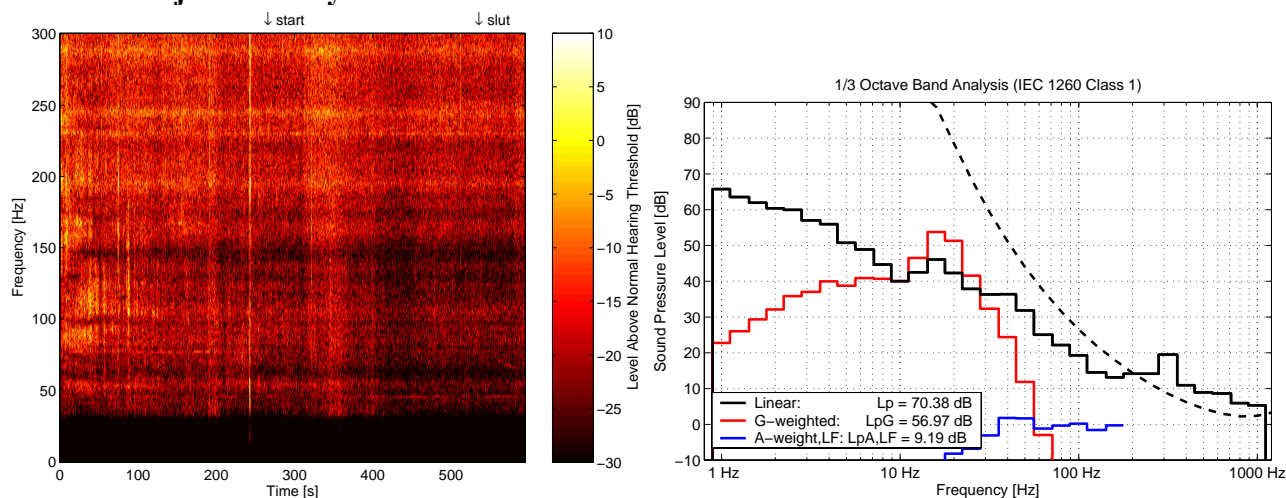
5.3.2 $L_{pA,LF}$ og L_{pG} for de hele måleperioder

Tabellen viser de frekvensvægtede ækvivalente lydtryk for lyden i de forskellige målepositioner. Position 1-3 er fundet iht. miljøstyrelsens vejledning.

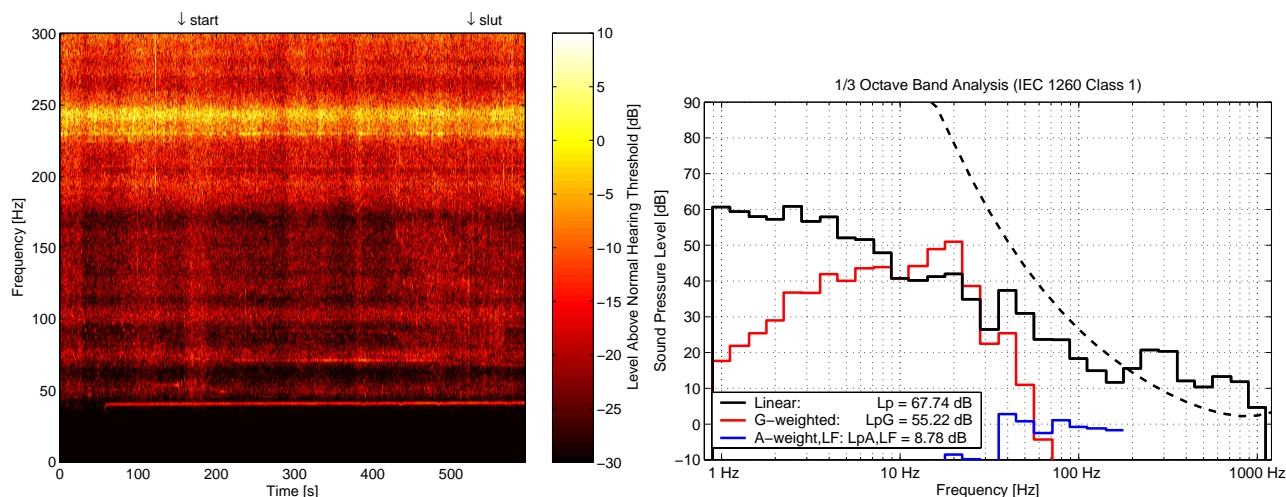
A-vægtet lydtryksniveau (10-160 Hz) $L_{pA,LF}$ [dB]				G-vægtet lydtryksniveau L_{pG} [dB]			
Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Energi-middel	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Energi-middel
11.2	8.9	8.1	9.6*	56.9	55.7	54.3	55.8*

* regnefejl rettet i forhold til tallene i Målerapport 180314

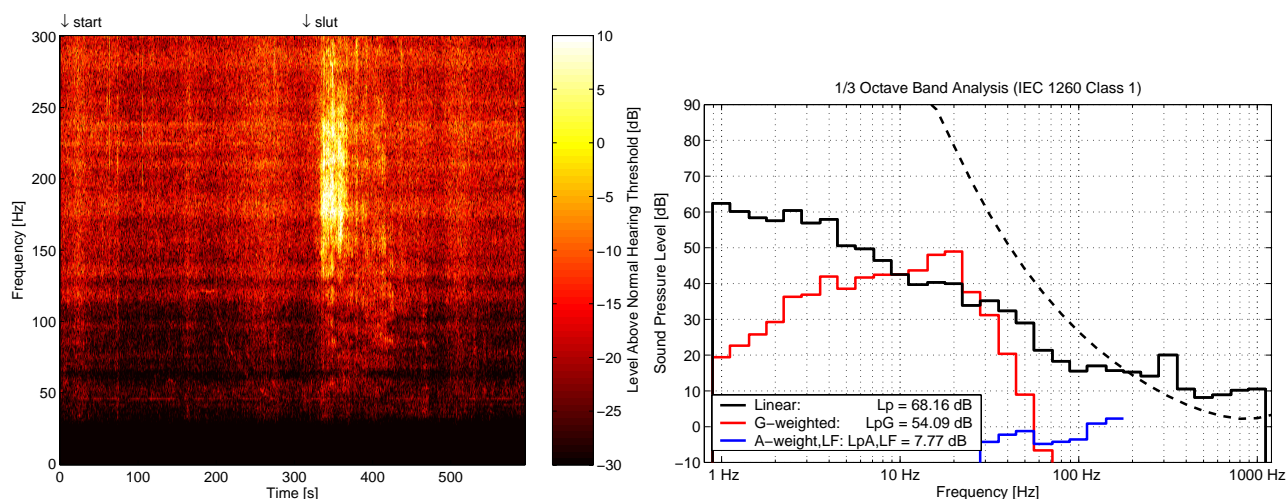
5.3.3 Detaljerede analyser



Figur 19: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 1. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 20: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 2. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 21: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 3. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.

5.3.4 Vurdering af støjen med henblik på potentielle støjgener.

L_{pG} ligger langt under grænseværdien, og det vurderes, at der ikke vil være gener på grund af infralyd. $L_{pA,LF}$ ligger også under grænseværdien, som i dette tilfælde, hvor der er tale om en bolig, er 20 dB, hvis lyden forekommer om aftenen eller natten.

Der er i målingerne generelt meget lidt lavfrekvent støj, og 1/3-oktavniveauerne ligger klart under høretærsklen op til og med 160 Hz. Der er ingen gennemgående toner under 200 Hz, bortset fra en tone på ca. 40 Hz under en del af målingen i position 2 (Figur 20). Tonen er dog noget under høretærsklen. Målingerne viser således ikke lavfrekvent støj, der kan formodes at genere. Der er dog ikke lavet målinger i hjørnepositioner, så der er en risiko for, at der findes højere niveauer – og evt. andre lyde – andre steder i rummet.

5.4 Målerapport 185163

5.4.1 Beskrivelse

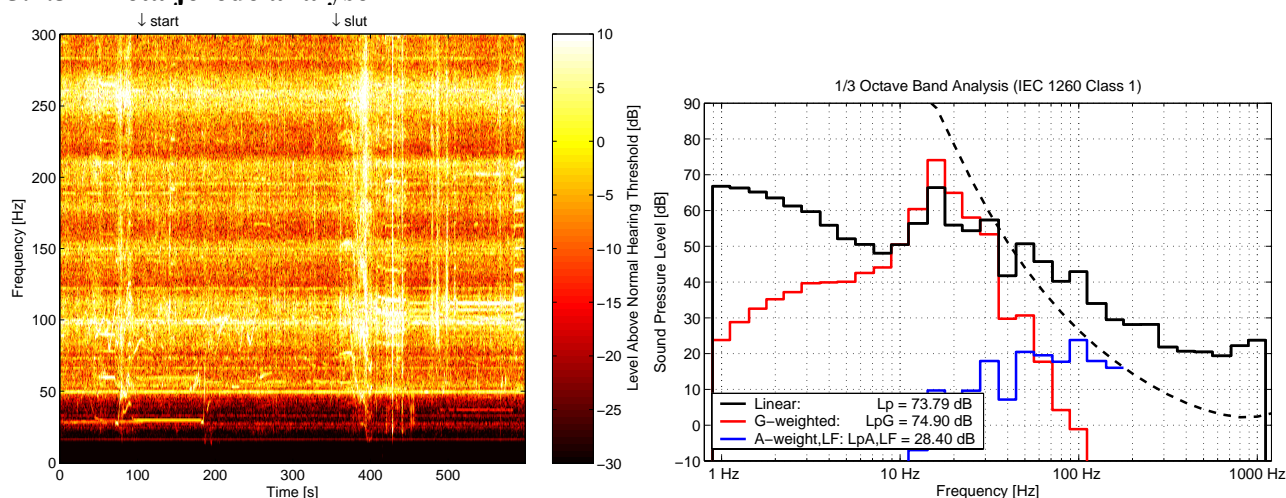
Måling af lavfrekvent støj og infralyd i et kontor på et biomassefyret kraftvarmeværk med en samlet el- og varmeydelse i størrelsesordenen 260 MW (samme kraftvarmeværk som i målerapport 193926, afsnit 5.10). Kontoret er beliggende ca. 100 m fra turbine- og kedelbygningen. Vindhastigheden varierede mellem 2.2 og 4.5 m/s med en middelvind på 3.6 m/s, og vindens hastighedskomponent i retning fra kedelbygning til kontoret var positiv under målingerne.

5.4.2 $L_{pA,LF}$ og L_{pG} for de hele måleperioder

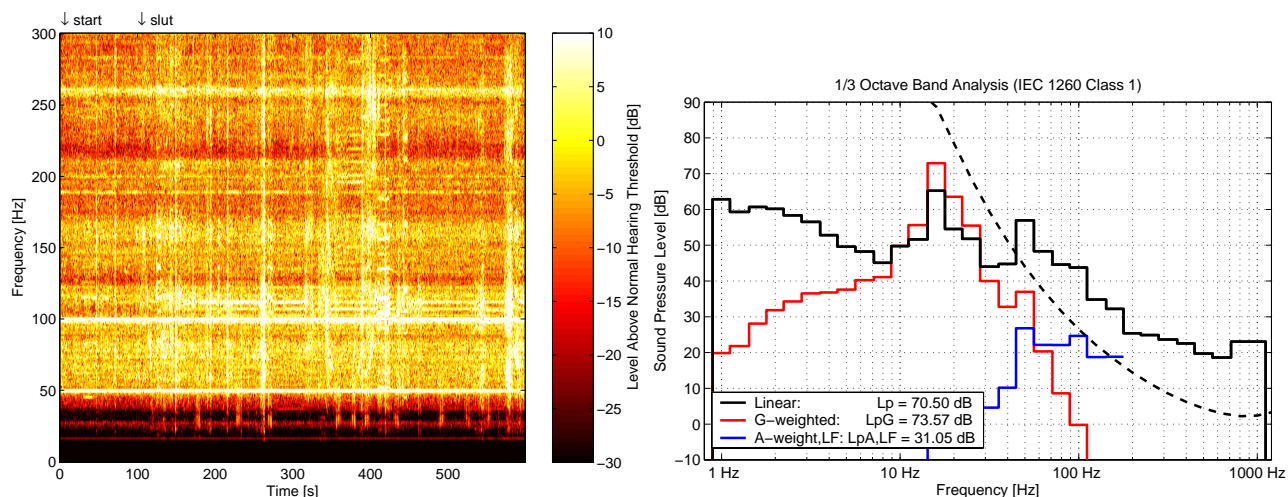
Tabellen viser de frekvensvægtede ækvivalente lydtryk for lyden i de forskellige målepositioner. Position 1-3 er fundet iht. miljøstyrelsens vejledning, mens position 4-6 er i hjørner.

A-vægtet lydtryksniveau (10-160 Hz) $L_{pA,LF}$ [dB]				G-vægtet lydtryksniveau L_{pG} [dB]			
Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Energi-middel	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Energi-middel
30.6	35.0	26.7	32.0	74.9	75.0	74.1	74.7
Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6	Energi-middel	Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6	Energi-middel
33.9	36.5	40.4	37.8	73.7	74.6	75.5	74.7

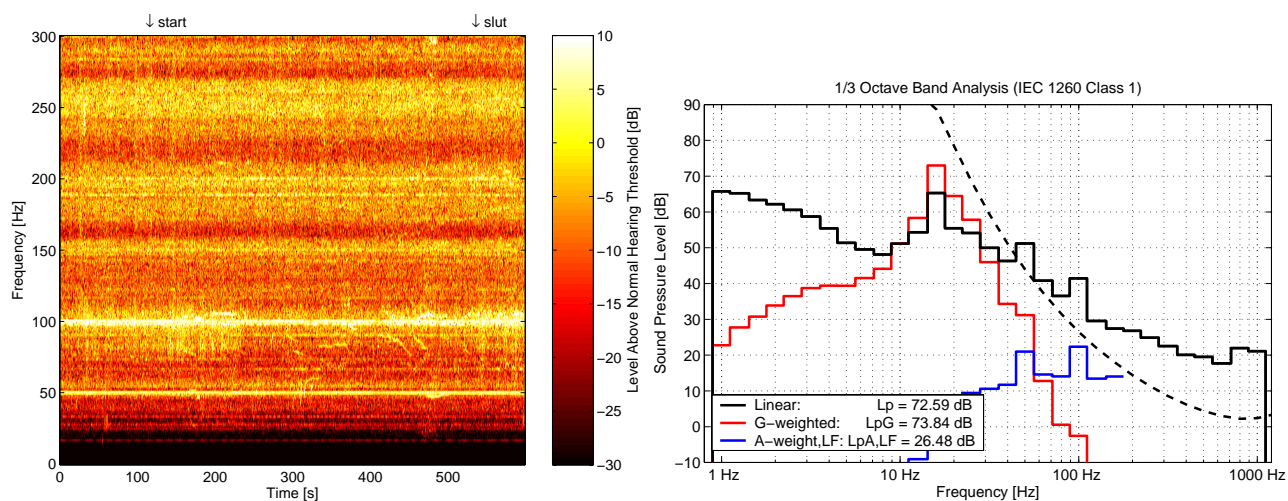
5.4.3 Detaljerede analyser



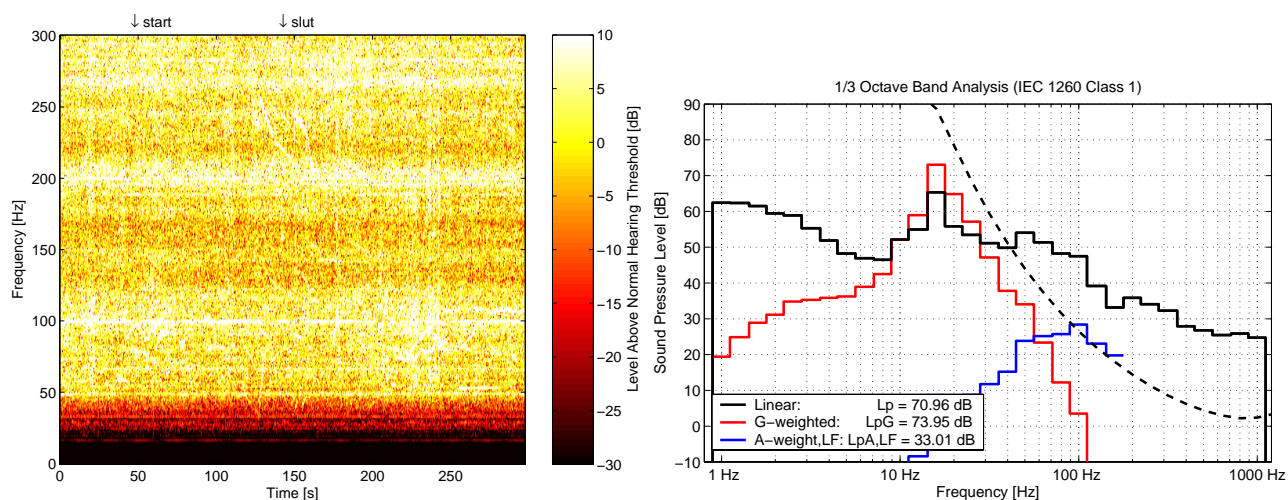
Figur 22: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 1. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



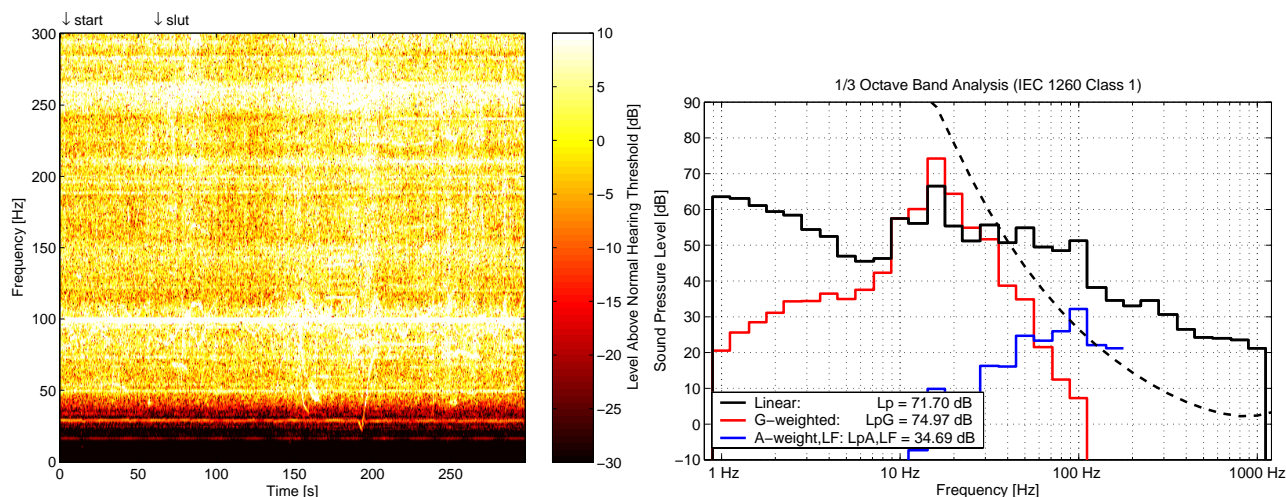
Figur 23: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 2. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



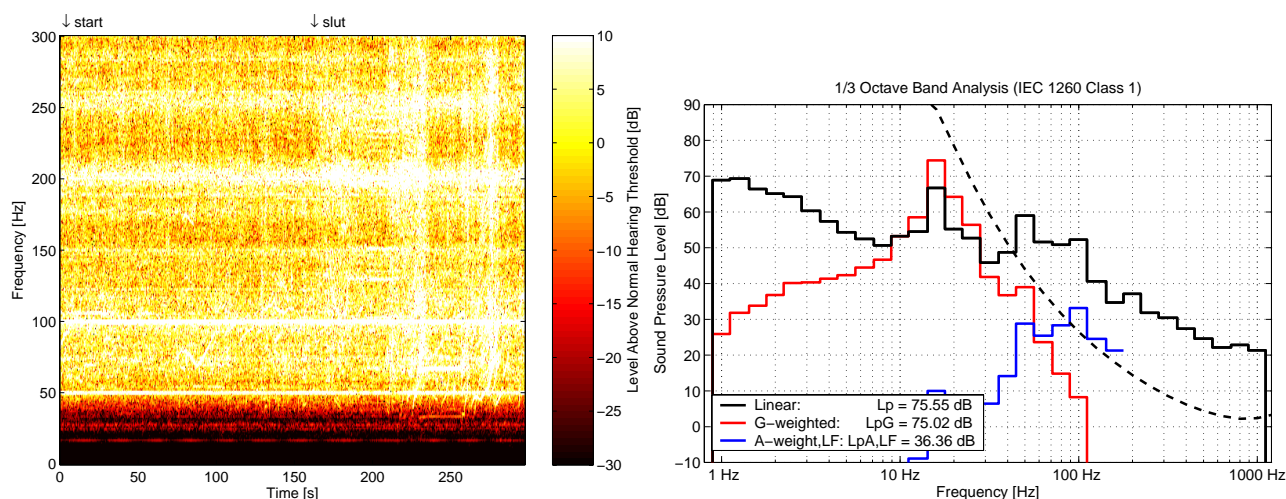
Figur 24: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 3. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 25: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 4. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 26: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 5. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 27: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 6. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.

5.4.4 Vurdering af støjen med henblik på potentielle støjgener.

L_{pG} ligger langt under grænseværdien, og det vurderes, at der ikke vil være gener på grund af infralyd. $L_{pA,LF}$ ligger over Miljøstyrelsens grænseværdi på 30 dB for kontorer, og det vurderes, at støjen vil være generende. Havde der været tale om en bolig, ville støjen formodentlig være stærkt generende for alle.

Det ses tydeligt ud fra Figur 22-Figur 27, at der er kraftige 50 Hz og 100 Hz frekvenskomponenter, som vil være tydeligt hørbare. Desuden er der tydelige toner også over lavfrekvensområdet. Det ser ud til, at det stort set er de samme frekvenskomponenter, der forekommer i målepositionerne iht. Miljøstyrelsen og i hjørnerne, men niveauet er generelt lidt højere i de sidste.

5.5 Målerapport 185422

5.5.1 Beskrivelse

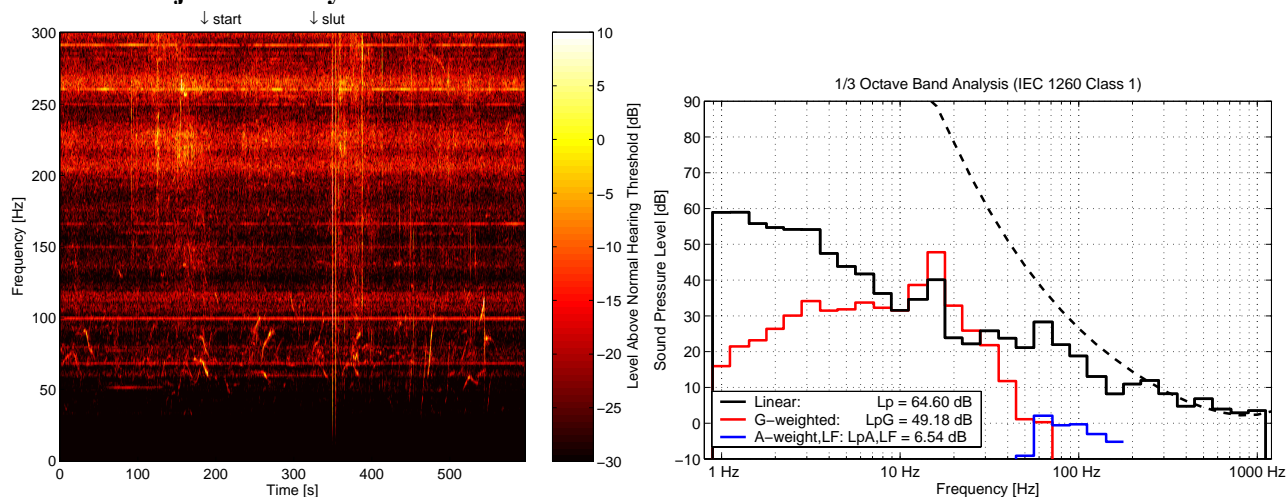
Måling af lavfrekvent støj og infralyd i et værelse i bolig beliggende ca. 550 m mod syd fra et affaldsfyret kraftvarmeværk med en samlet produktion af varme og el i størrelsesordenen 12-15 MW. Vindhastigheden varierede mellem 3.1 og 5.6 m/s med en middelvind på 4.2 m/s, og vindens hastighedskomponent fra kraftvarmeværket i retning mod boligen var positiv under målingerne.

5.5.2 $L_{pA,LF}$ og L_{pG} for de hele måleperioder

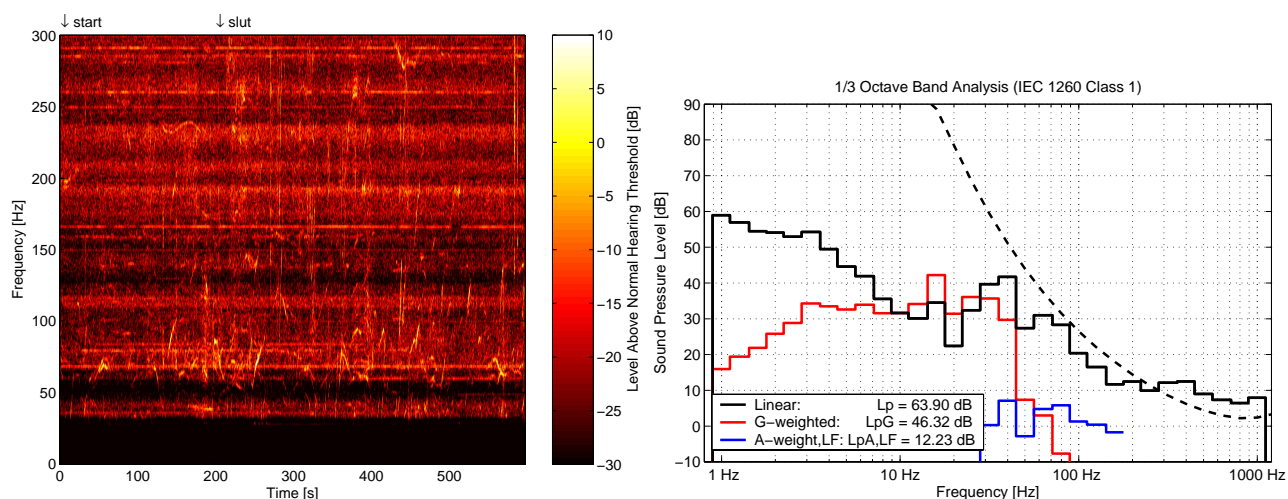
Tabellen viser de frekvensvægtede ækvivalente lydtryk for lyden i de forskellige målepositioner. Position 1-3 er fundet iht. miljøstyrelsens vejledning, mens position 4-6 er målt i hjørner. Der er ud over de 6 positioner også lavet supplerende målinger i stue og soveværelse.

A-vægtet lydtryksniveau (10-160 Hz) $L_{pA,LF}$ [dB]				G-vægtet lydtryksniveau L_{pG} [dB]			
Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Energi-middel	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Energi-middel
6.6	13.4	7.5	10.3	50.5	46.4	50.4	49.5
Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6	Energi-middel	Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6	Energi-middel
16.3	14.6	15.6	15.6	45.3	50.6	52.5	50.4
Stue		Soveværelse		Stue		Soveværelse	
12.3		15.5		54.1		63.3	

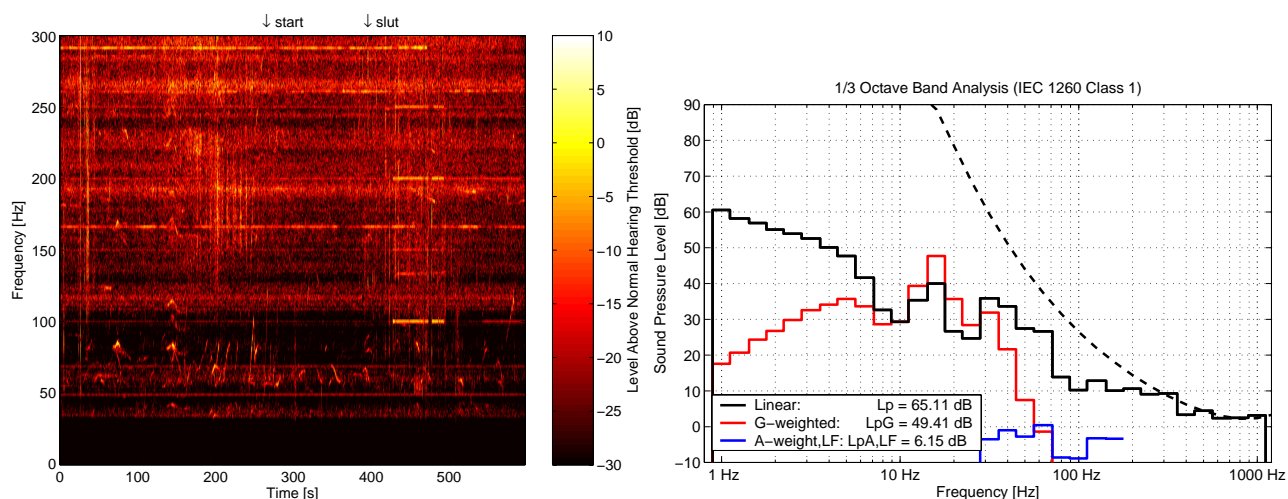
5.5.3 Detaljerede analyser



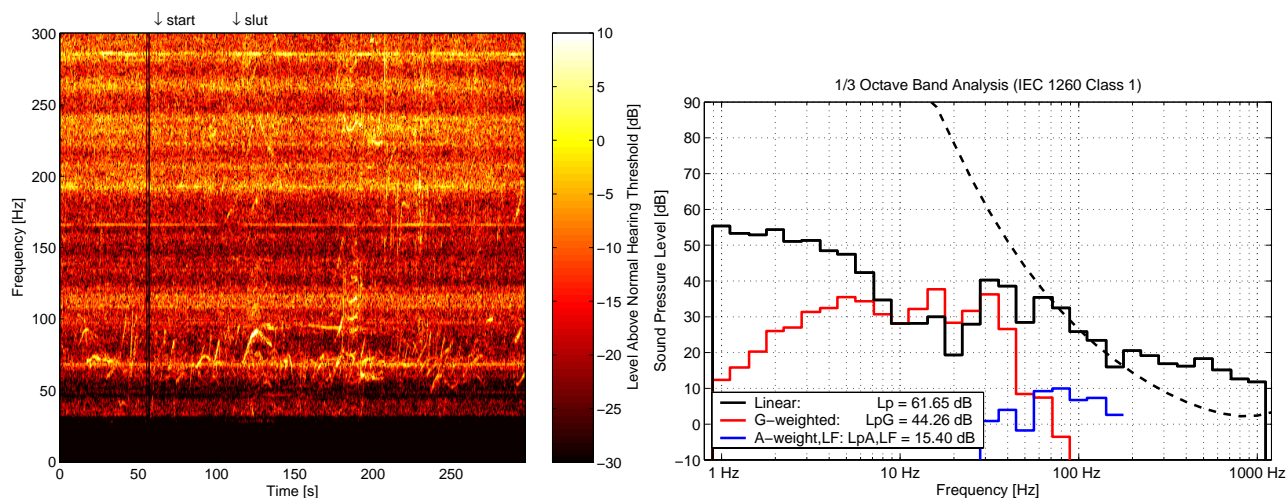
Figur 28: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 1. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



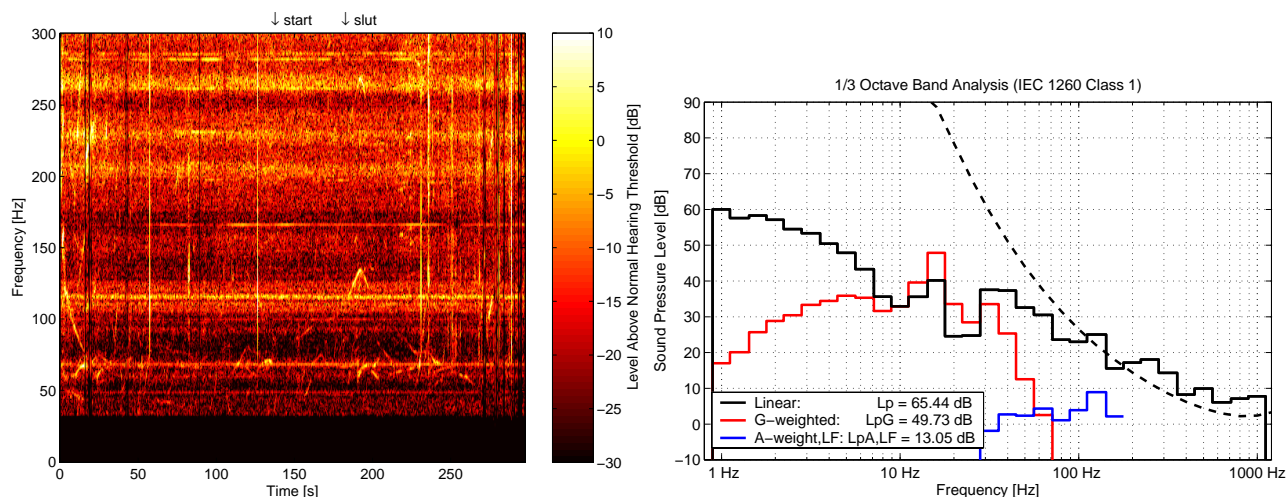
Figur 29: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 2. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



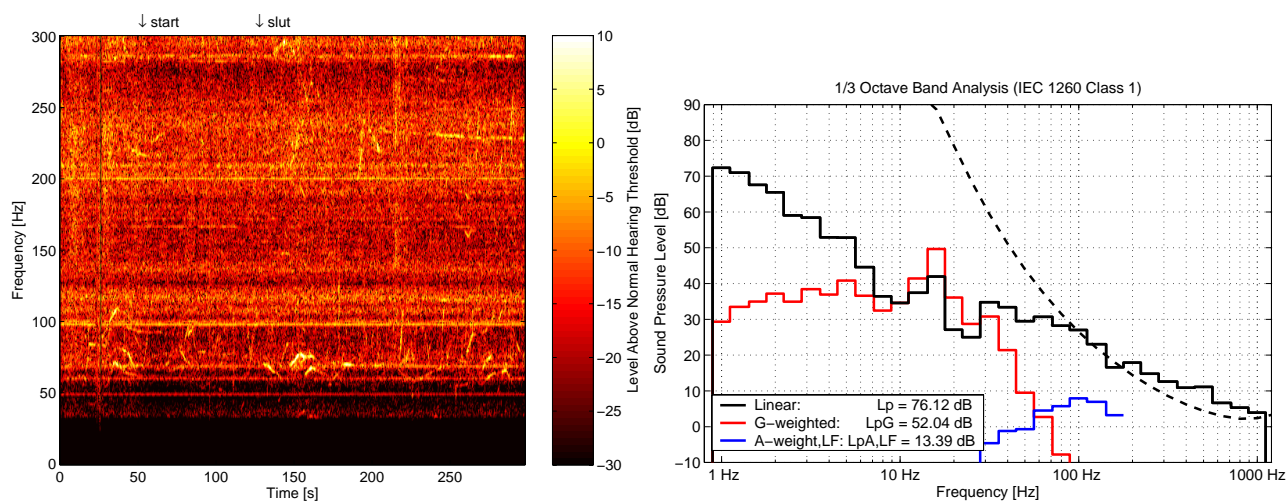
Figur 30: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 3. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



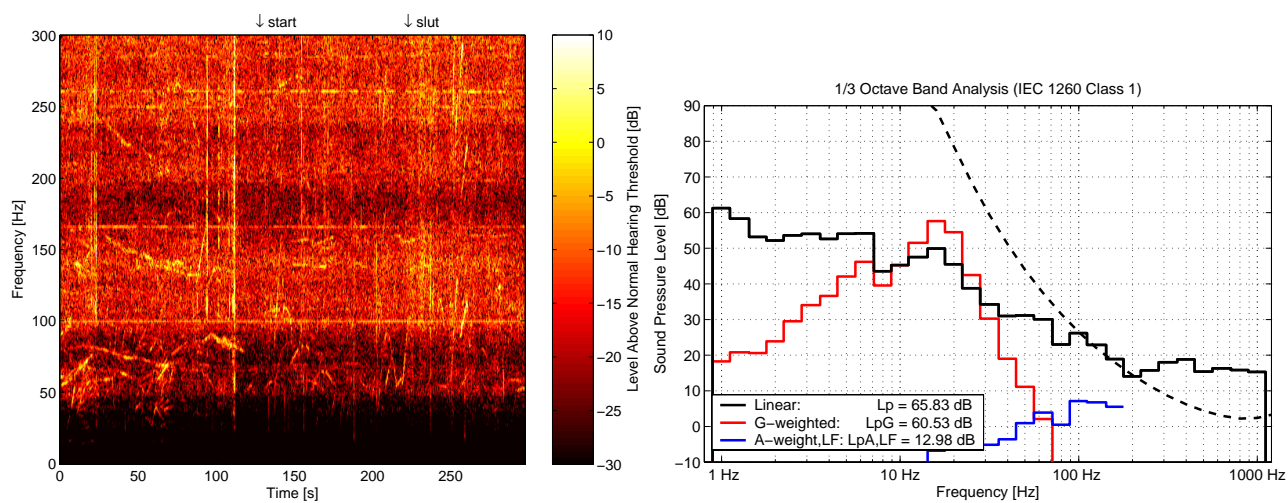
Figur 31: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 4. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



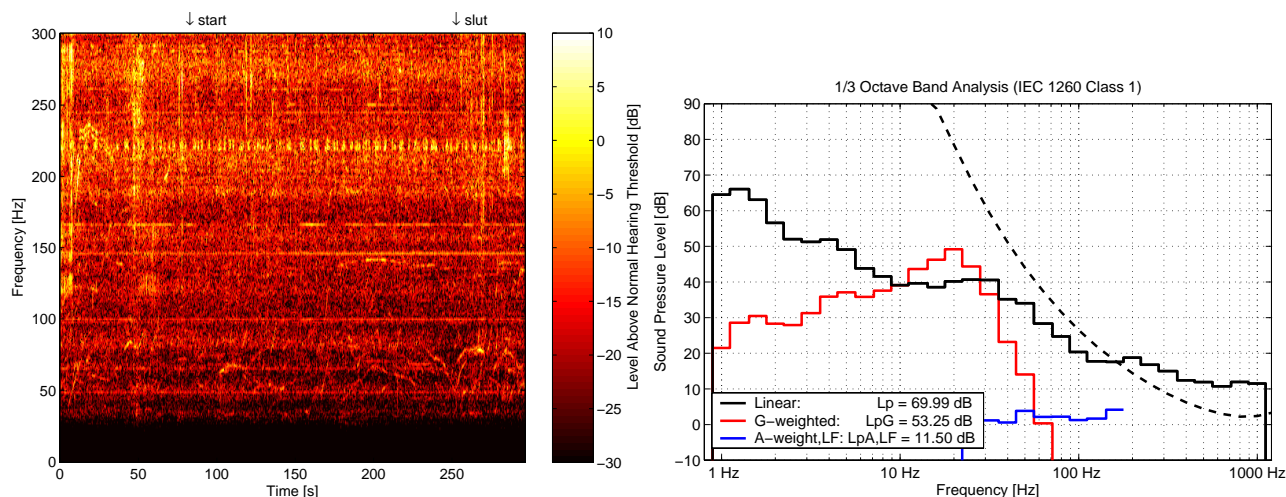
Figur 32: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 5. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 33: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 6. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 34: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i soveværelse. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 35: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i stue. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.

5.5.4 Vurdering af støjen med henblik på potentielle støjgener.

L_{pG} ligger langt under grænseværdien, og det vurderes, at der ikke vil være gener på grund af infralyd. $L_{pA,LF}$ ligger også under grænseværdien, som i dette tilfælde, hvor der er tale om en bolig, er 20 dB, hvis lyden forekommer om aftenen eller natten.

Det ses ud fra Figur 28-Figur 33, at der i positionerne 1-6 findes en række mere eller mindre rene toner. Det bemærkes, at tonerne optræder med forskellig styrke i de forskellige positioner, og at niveauet generelt er højere i hjørnerne. I hjørnerne ses niveauer omkring eller over høretærsklen for 1/3-oktavbåndene fra 63 Hz og op, og hvis disse niveauer også findes ude i rummet, vil støjen formodentlig genere nogle personer.

I de supplerende målinger fra soveværelse og stue (Figur 34 og Figur 35), ses for soveværelset niveauer omkring eller over høretærsklen i 1/3-oktavbåndene fra 100 Hz og op. Denne støj vil formodentlig genere nogle. I soveværelse og stue er der ikke lavet målinger i hjørnepositioner, og der er en risiko for, at der findes kraftigere lyd, end målingerne viser – og evt. andre lyde – andre steder i rummet.

5.6 Målerapport 185790

5.6.1 Beskrivelse

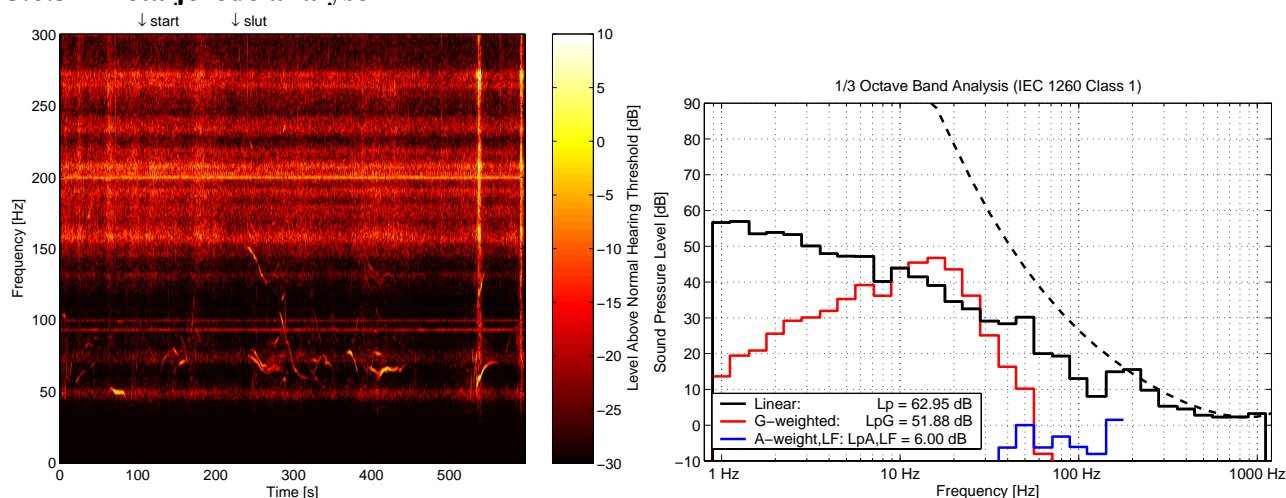
Måling af lavfrekvent støj og infralyd i et værelse i bolig beliggende ca. 325 m fra 750 kW vindmølle placeret sydøst for huset. Vindhastigheden varierede mellem 3.7 og 5.0 m/s med en middelvind på 4.4 m/s, og vindens hastighedskomponent i retningen fra vindmøllen til boligen var positiv under målingerne (for senere målinger ved større vindhastigheder, se afsnit 5.9, målerapport 188324).

5.6.2 $L_{pA,LF}$ og L_{pG} for de hele måleperioder

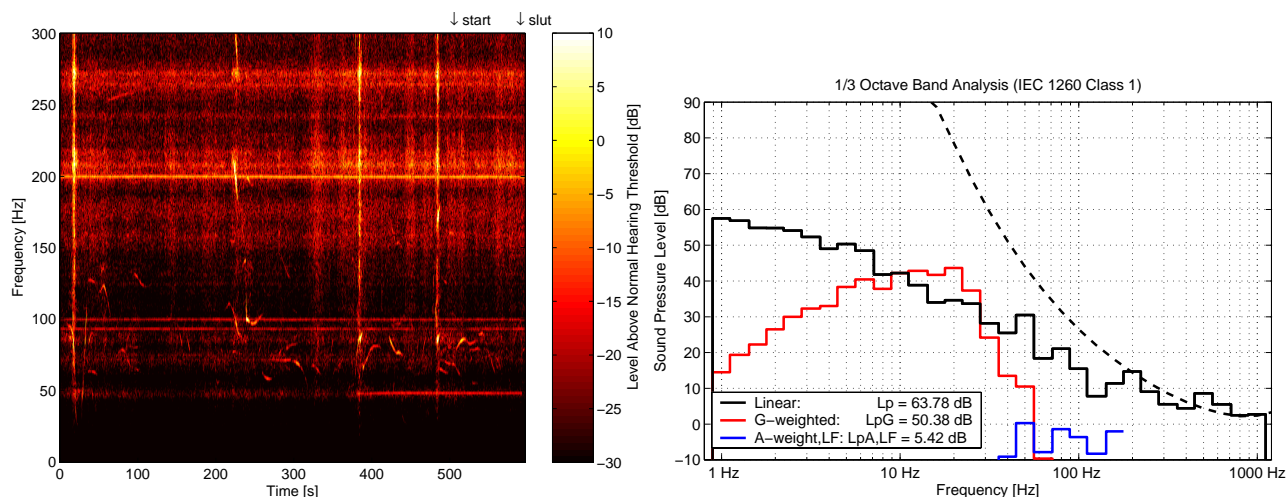
Tabellen viser de frekvensvægtede ækvivalente lydtryk for lyden i de forskellige målepositioner. Position 1-3 er fundet iht. miljøstyrelsens vejledning, mens position 4-6 er i hjørner.

A-vægtet lydtryksniveau (10-160 Hz) $L_{pA,LF}$ [dB]				G-vægtet lydtryksniveau L_{pG} [dB]			
Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Energi-middel	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Energi-middel
6.4	4.8	11.0	8.2	51.7	50.8	49.7	50.8
Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6	Energi-middel	Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6	Energi-middel
13.6	18.9	14.1	16.2	50.5	52.1	50.2	51.0

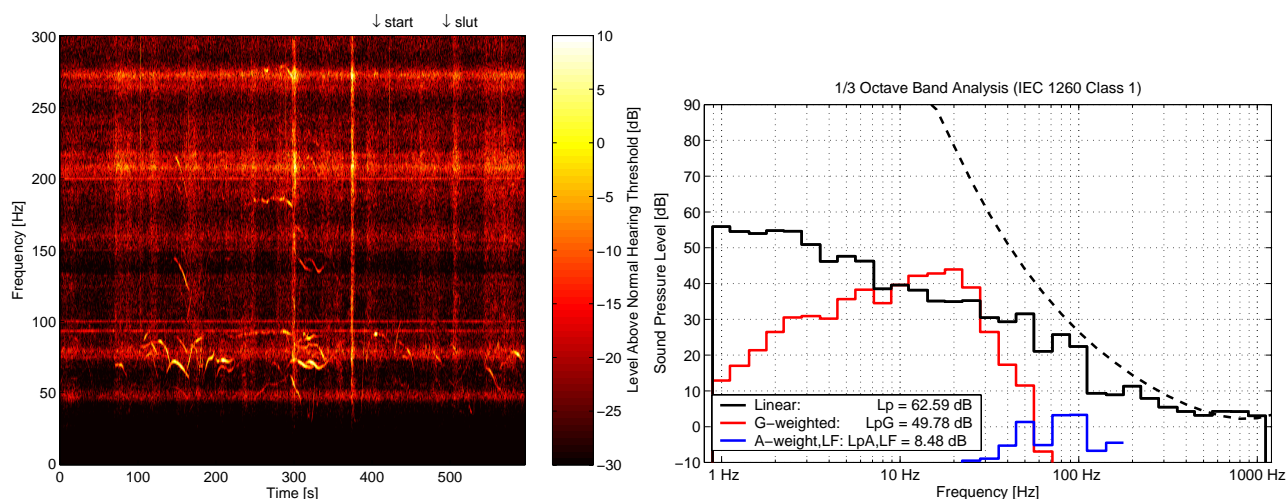
5.6.3 Detaljerede analyser



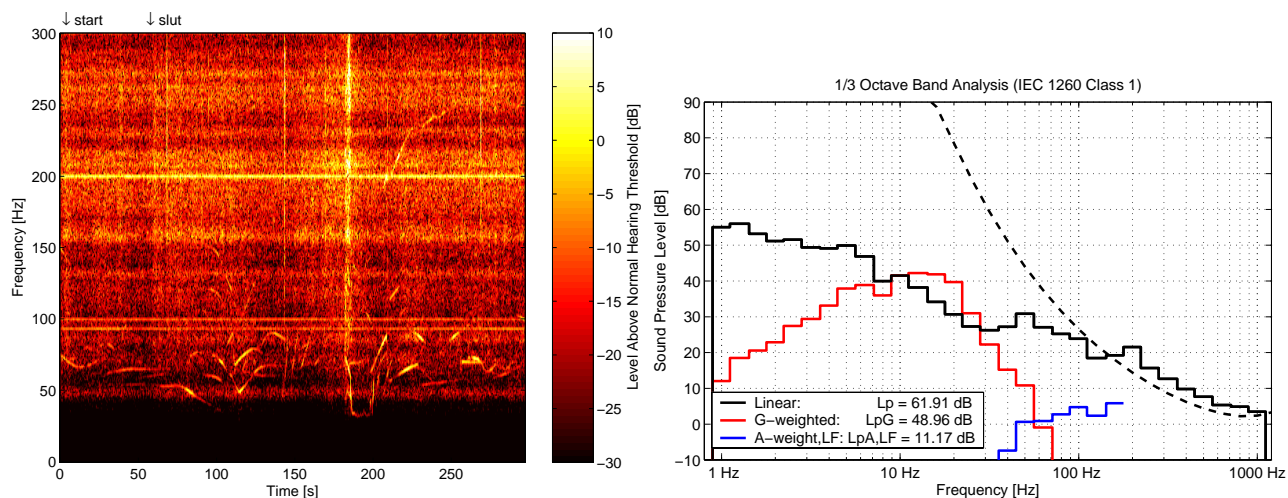
Figur 36: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 1. Højre: 1/3-oktavnåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



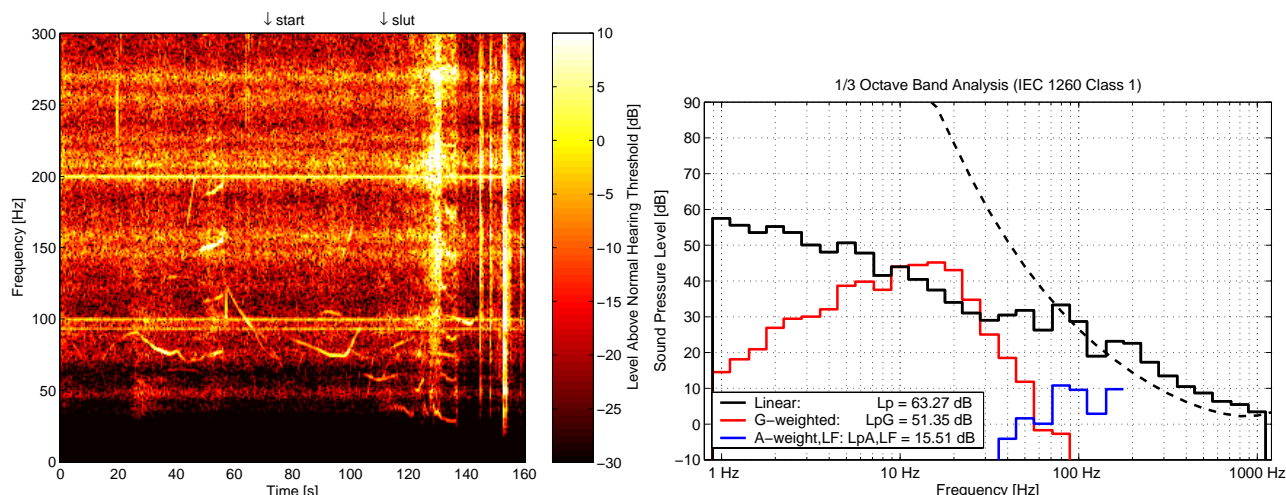
Figur 37: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 2. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



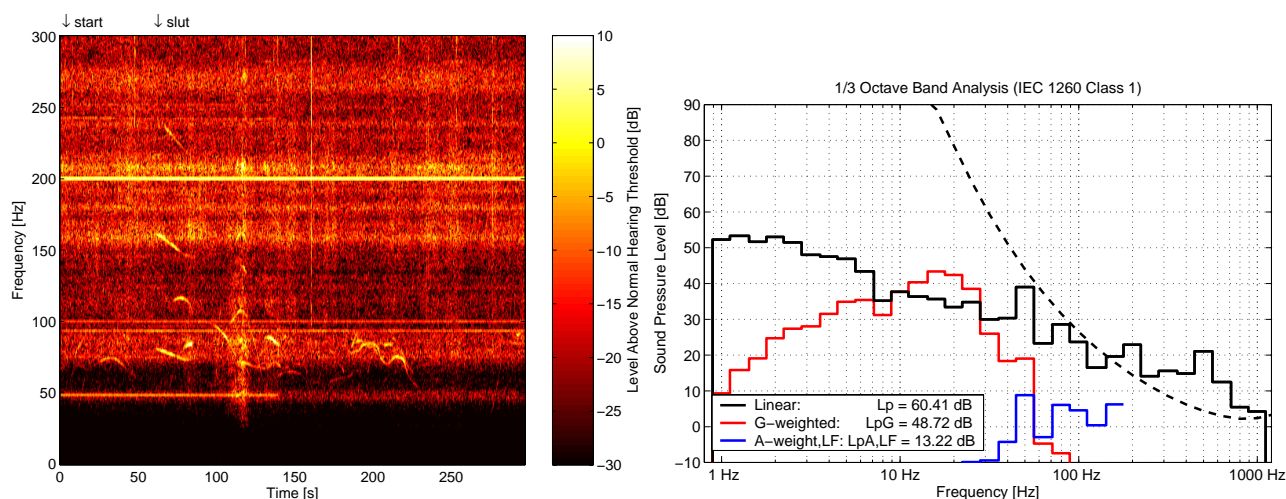
Figur 38: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 3. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 39: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 4. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 40: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 5. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 41: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 6. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.

5.6.4 Vurdering af støjen med henblik på potentielle støjgener.

L_{pG} ligger langt under grænseværdien, og det vurderes, at der ikke vil være gener på grund af infralyd. $L_{pA,LF}$ ligger også under grænseværdien, som i dette tilfælde, hvor der er tale om en bolig, er 20 dB, hvis lyden forekommer om aftenen eller natten.

Det ses ud fra Figur 36-Figur 41, at der er en 200 Hz komponent, som er hørbar i de fleste målepositioner, og det må formodes, at den vil være generende. Miljøstyrelsen regner ikke 200 Hz med til lavfrekvent støj, så tonen er ikke medtaget i beregningerne iht. deres regler. Der er lavere harmoniske beliggende ved 50 og 100 Hz og desuden en separat tone lige under 100 Hz. I hjørnerne ses niveauer på eller lidt over høretærsklen også i 1/3-oktavbåndene under 200 Hz. Hvis disse niveauer også findes ude i rummet, vil støjen formodentlig genere nogle personer.

5.7 Målerapport 186015

5.7.1 Beskrivelse

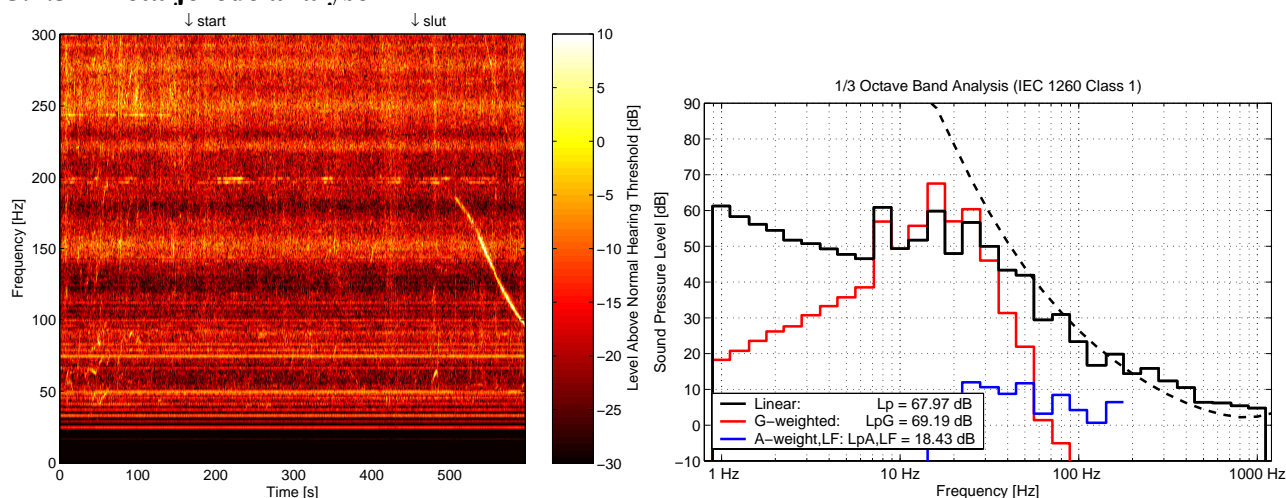
Måling af lavfrekvent støj og infralyd i en entré i bolig beliggende ca. 60 m mod øst fra et gasmotor kraftvarmeværk i størrelsesordenen 8-10 MW (samme kraftvarmeværk som i målerapport 186303, afsnit 5.8). Vindhastigheden varierede mellem 4.8 og 6.6 m/s med en middelvind på 5.5 m/s, og vindens hastighedskomponent i retning fra kraftvarmeværket til boligen var positiv under målingerne.

5.7.2 $L_{pA,LF}$ og L_{pG} for de hele måleperioder

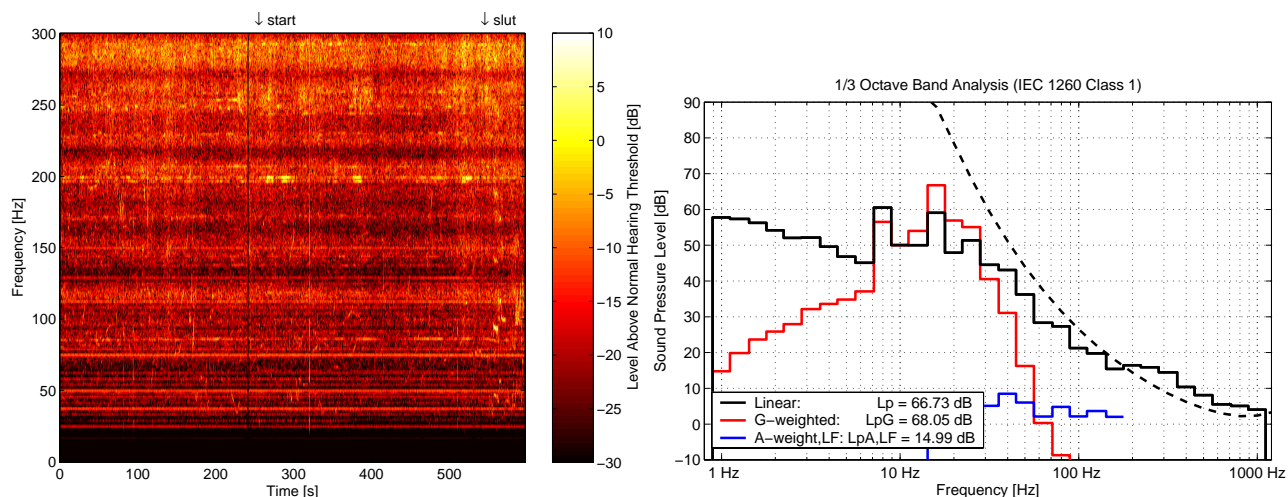
Tabellen viser de frekvensvægtede ækvivalente lydtryk for lyden i de forskellige målepositioner. Position 1-3 er fundet iht. miljøstyrelsens vejledning, mens position 4-6 er i hjørner.

A-vægtet lydtryksniveau (10-160 Hz) $L_{pA,LF}$ [dB]				G-vægtet lydtryksniveau L_{pG} [dB]			
Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Energi-middel	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Energi-middel
19.4	15.5	18.0	17.9	69.5	68.3	65.7	68.1
Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6	Energi-middel	Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6	Energi-middel
21.2	24.1	24.8	23.6	65.6	69.4	68.0	67.9

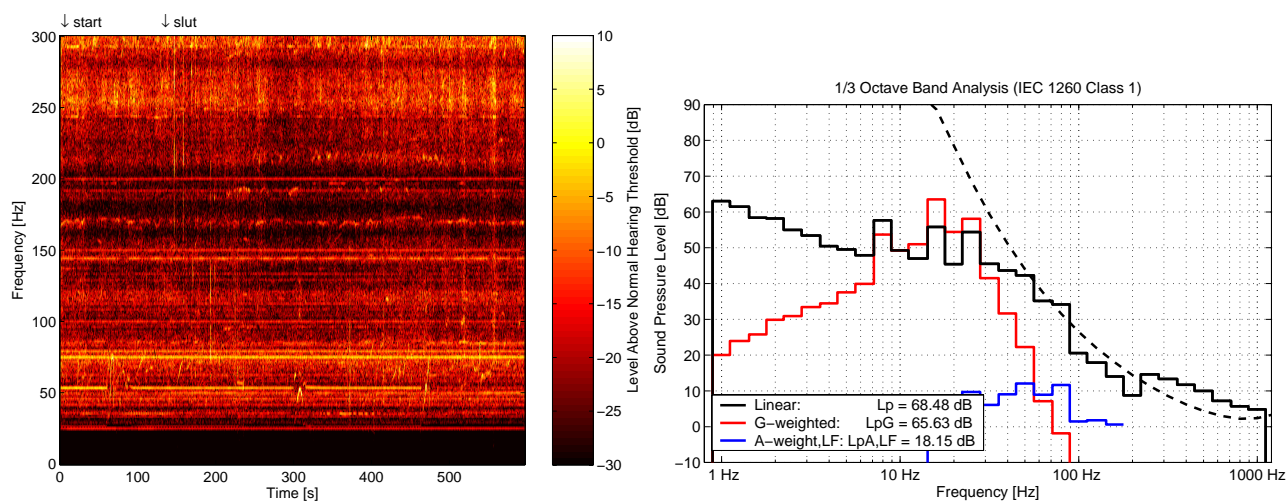
5.7.3 Detaljerede analyser



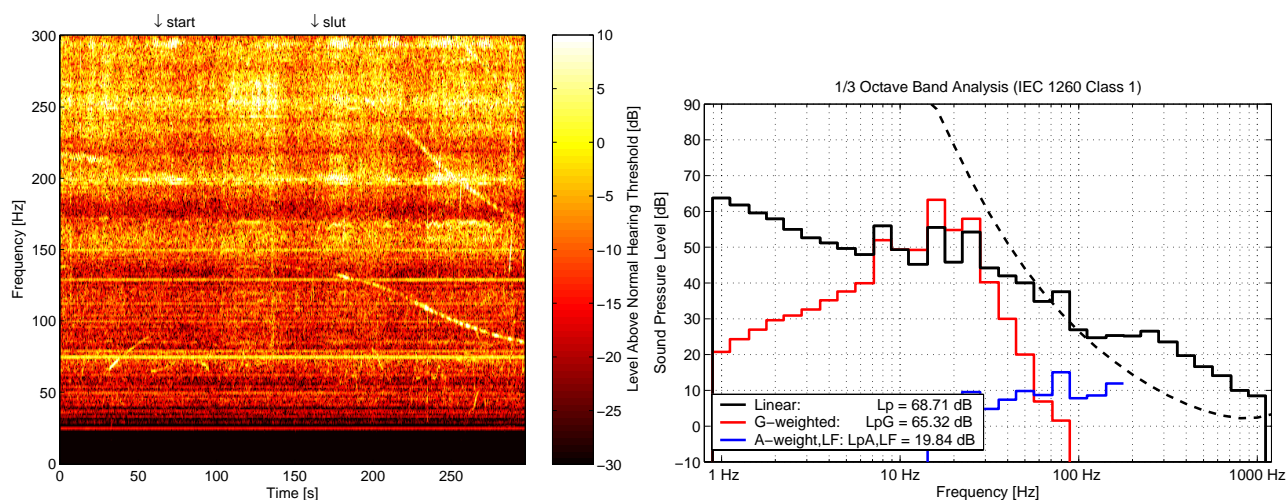
Figur 42: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 1. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



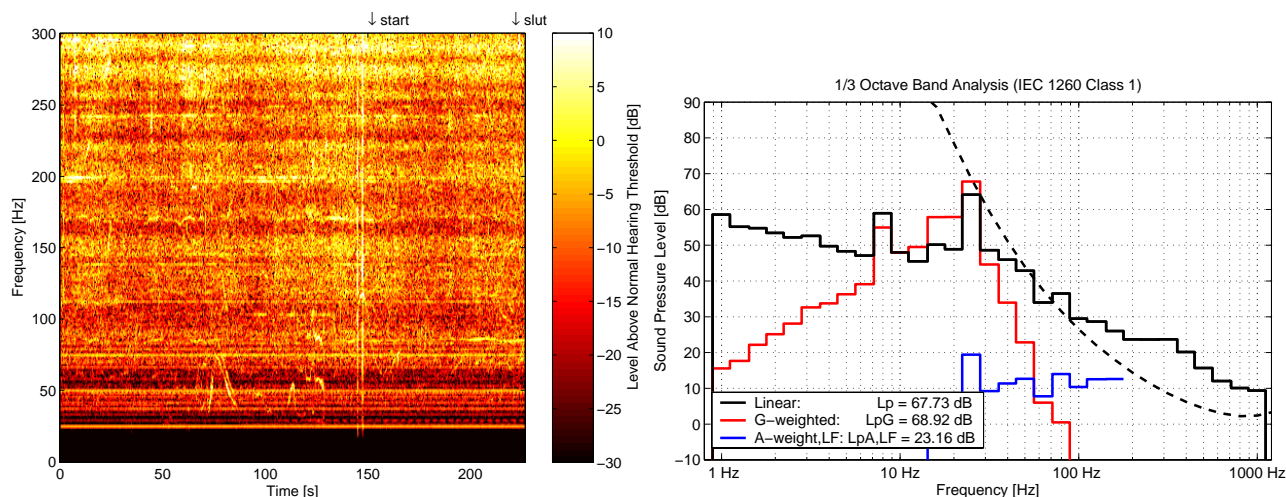
Figur 43: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 2. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



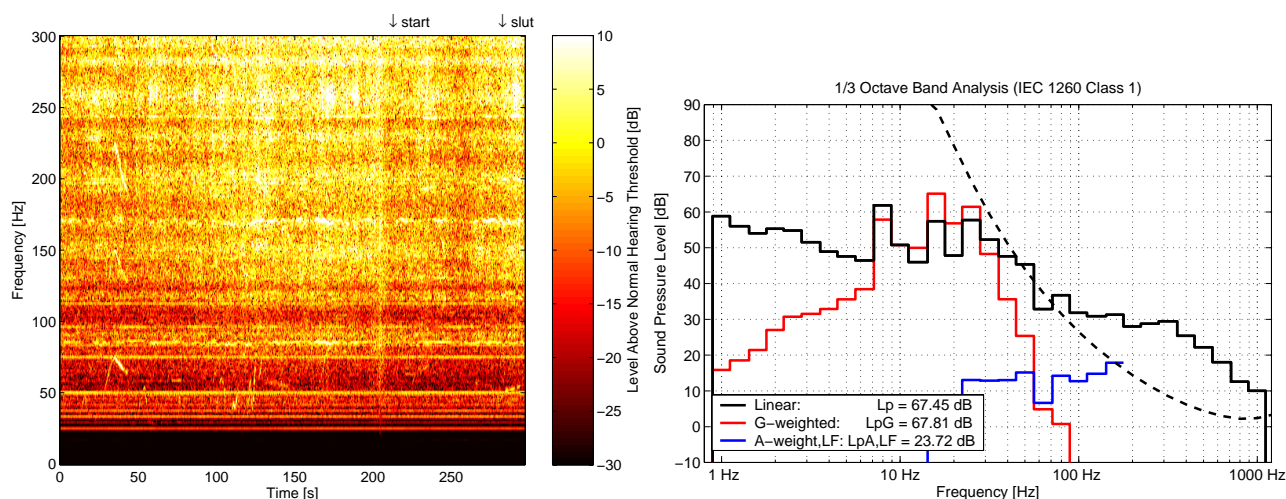
Figur 44: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 3. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 45: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 4. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 46: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 5. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 47: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 6. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.

5.7.4 Vurdering af støjen med henblik på potentielle støjgener.

L_{pG} ligger langt under grænseværdien, og det vurderes, at der ikke vil være gener på grund af infralyd. $L_{pA,LF}$ for målepositionerne valgt iht. Miljøstyrelsens regler ligger også under grænseværdien, som i dette tilfælde, hvor der er tale om en bolig, er 20 dB, hvis lyden forekommer om aftenen eller natten. Grænseværdien er derimod overskredet for $L_{pA,LF}$ målt i hjørnerne.

Det ses ud fra Figur 42-Figur 47, at 1/3-oktaverne 8, 16 og 25 Hz ligger tydeligt over de omkringliggende frekvensbånd. En nærmere analyse (ikke vist) afslører, at der er tale om en tone på 8.3 Hz med harmoniske overtoner ved 16.7, 25, 33.3 Hz osv. Det formodes, at frekvensen på de 8.3 Hz opstår som subharmonisk (1/6) til netfrekvensen på 50 Hz. 75 Hz komponenten (9. harmoniske, indeholdt i 80 Hz 1/3-oktavbåndet) er over høretærsklen i en af målepositionerne iht.

Miljøstyrelsens regler (Figur 44) og i alle de målte hjørner (Figur 44-Figur 47). De lavere harmoniske kommer kun sporadisk i nærheden af eller op på høretærsklen, men som noget lidt usædvanligt kommer en meget ren 25 Hz tone tæt på høretærsklen i måleposition 5 (Figur 46). Såfremt den hørbare lyd fra hjørnerne findes ude i rummet (hvilket faktisk er bekræftet af målingen i den ene måleposition iht. Miljøstyrelsens regler), vil støjen formodentlig genere nogle personer.

5.8 Målerapport 186303

5.8.1 Beskrivelse

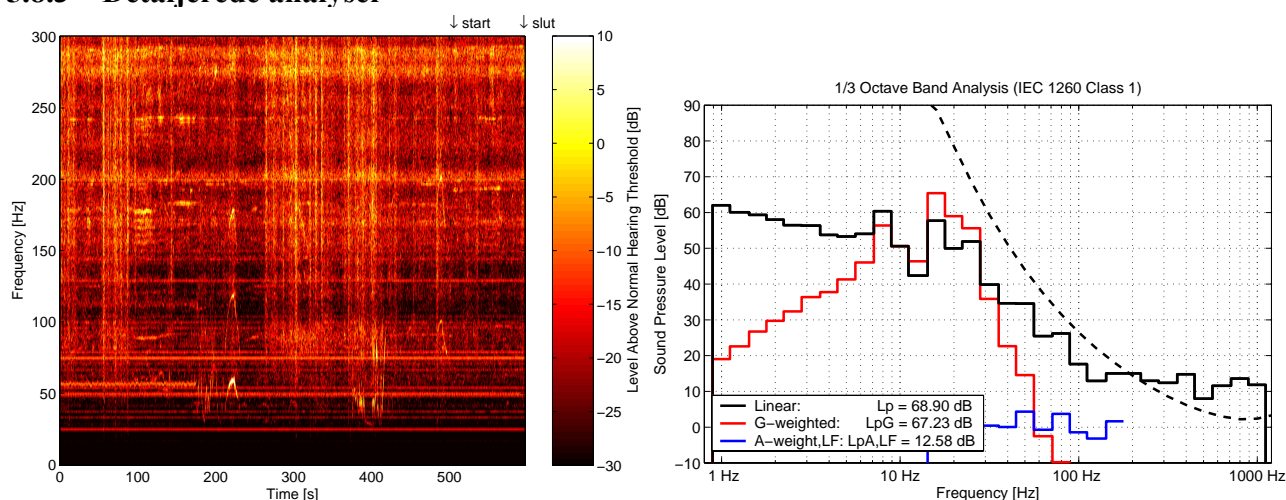
Måling af lavfrekvent støj og infralyd i et værelse i et værelse i bolig beliggende ca. 70 m mod øst fra et gasmotor kraftvarmeværk i størrelsesordenen 8-10 MW (samme kraftvarmeværk som i målerapport 186015, afsnit 5.7). Vindhastigheden varierede mellem 4.8 og 6.6 m/s med en middelvind på 5.5 m/s, og vindens hastighedskomponent i retning fra kraftvarmeværket til boligen var positiv under målingerne.

5.8.2 $L_{pA,LF}$ og L_{pG} for de hele måleperioder

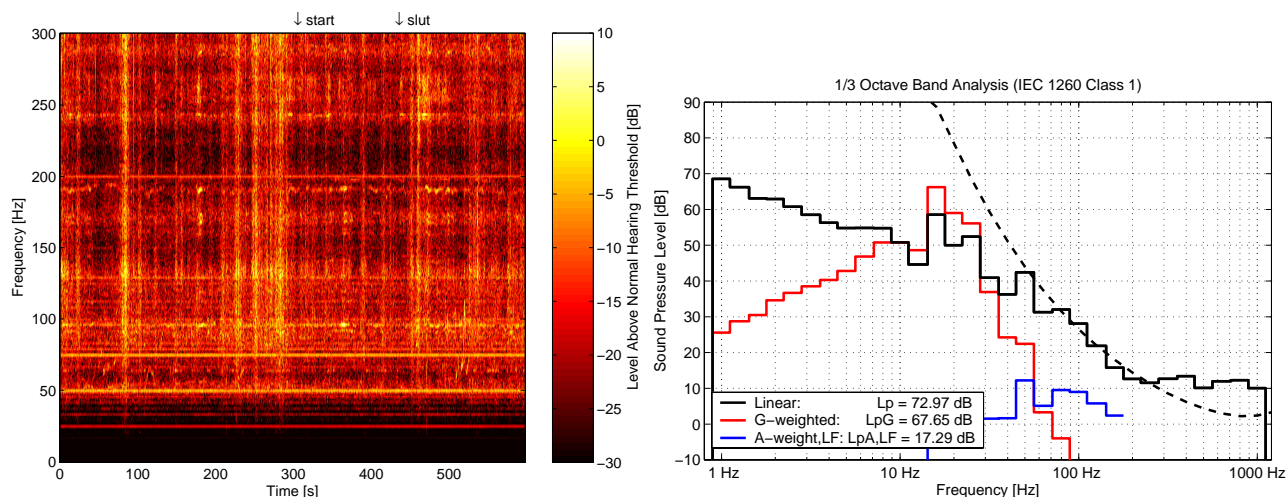
Tabellen viser de frekvensvægtede ækvivalente lydtryk for lyden i de forskellige målepositioner. Position 1-3 er fundet iht. miljøstyrelsens vejledning, mens position 4-6 er i hjørner.

A-vægtet lydtryksniveau (10-160 Hz) $L_{pA,LF}$ [dB]				G-vægtet lydtryksniveau L_{pG} [dB]			
Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Energi-middel	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Energi-middel
14.2	18.3	12.4	15.7	67.6	68.0	67.5	67.7
Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6	Energi-middel	Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6	Energi-middel
19.7	20.3	21.0	20.4	67.6	66.6	66.9	67.1

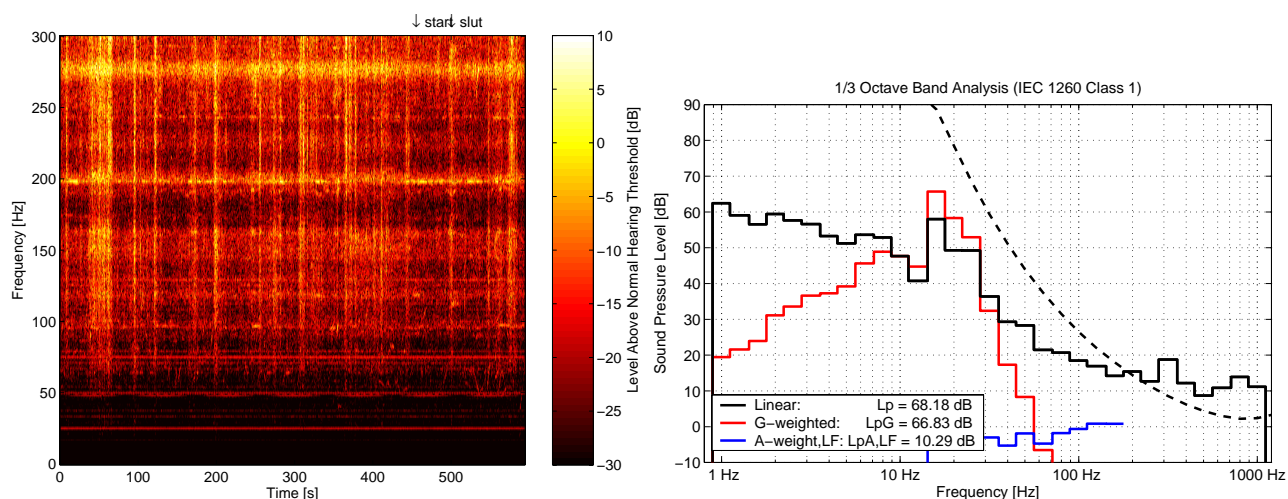
5.8.3 Detaljerede analyser



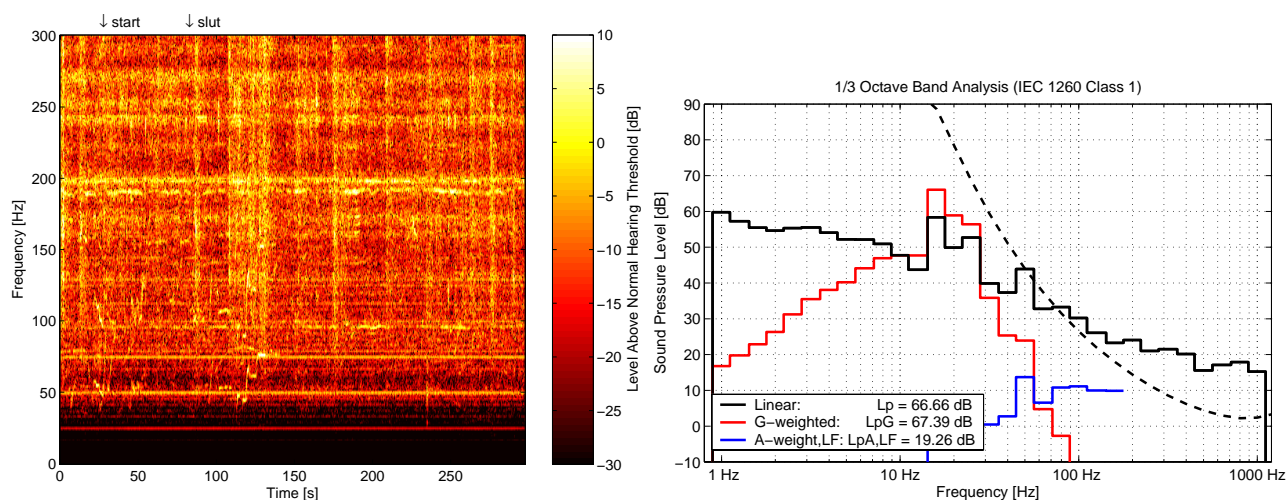
Figur 48: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 1. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



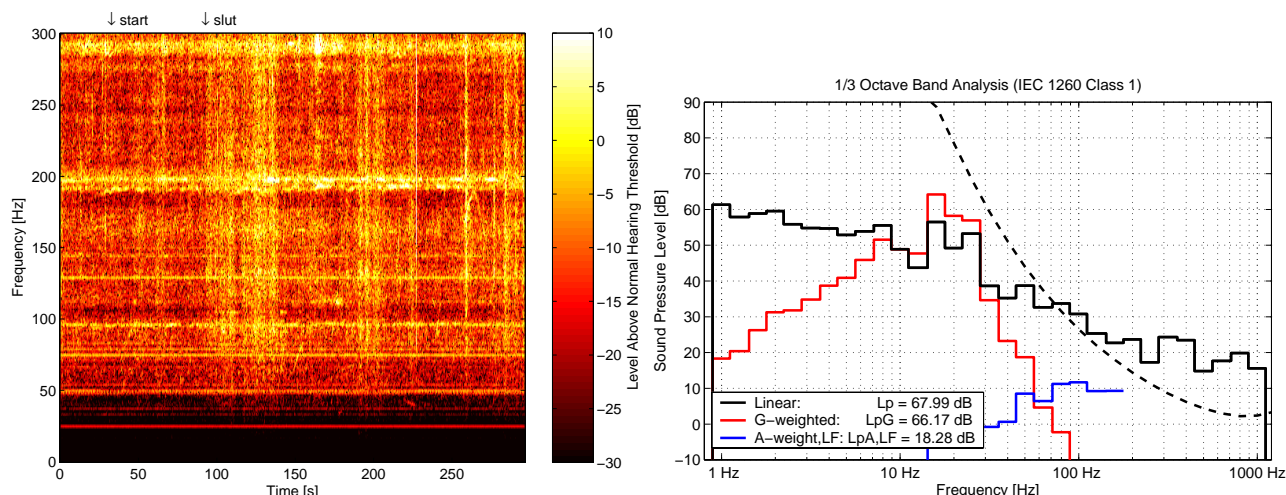
Figur 49: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 2. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



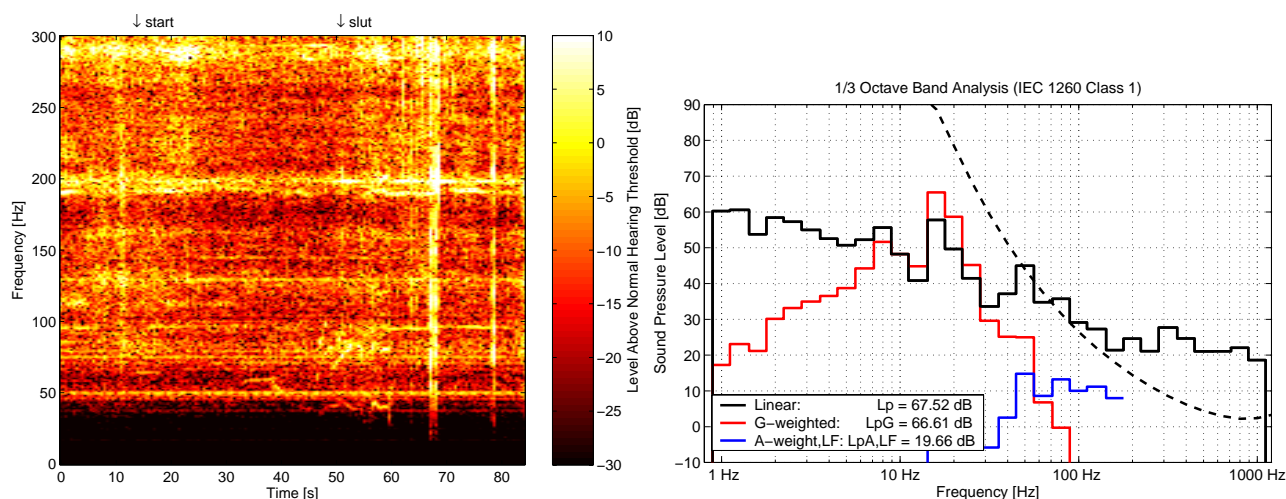
Figur 50: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 3. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 51: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 4. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 52: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 5. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 53: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 6. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval. Bemærk, at denne måling kun er ca. 1½ minut og ikke de anbefalede 5 minutter.

5.8.4 Vurdering af støjen med henblik på potentielle støjgener.

L_{pG} ligger langt under grænseværdien, og det vurderes, at der ikke vil være gener på grund af infralyd. $L_{pA,LF}$ for målepositionerne valgt iht. Miljøstyrelsens regler ligger også under grænseværdien, som i dette tilfælde, hvor der er tale om en bolig, er 20 dB, hvis lyden forekommer om aftenen eller natten. Grænseværdien er derimod lige netop overskredet for $L_{pA,LF}$ målt i hjørnerne.

Selvom det er knapt så tydeligt her, findes det samme mønster af markante komponenter i 8, 16 og 25 Hz 1/3-oktavbåndene som i Målerapport 186015 (se afsnit 5.7), hvilket er forventet eftersom denne bolig ligger 10 m længere væk fra samme kraftvarmeværk. En nærmere analyse (ikke vist) afslører, at der også her er tale om en tone på 8.3 Hz med harmoniske overtoner ved 16.7, 25, 33.3 Hz osv. Nogle af komponenterne fra 50 Hz og opefter bringer 1/3-oktavniveauet op omkring høretærsklen i en enkelt af målepositionerne iht. Miljøstyrelsens regler (position 2, Figur 49) og i alle de målte hjørnepositioner (Figur 51-Figur 53). Såfremt den hørbare lyd fra hjørnerne findes ude i rummet (hvilket faktisk er bekræftet af målingen i den ene måleposition iht. Miljøstyrelsens regler), vil støjen formodentlig genere nogle personer.

5.9 Målerapport 188324

5.9.1 Beskrivelse

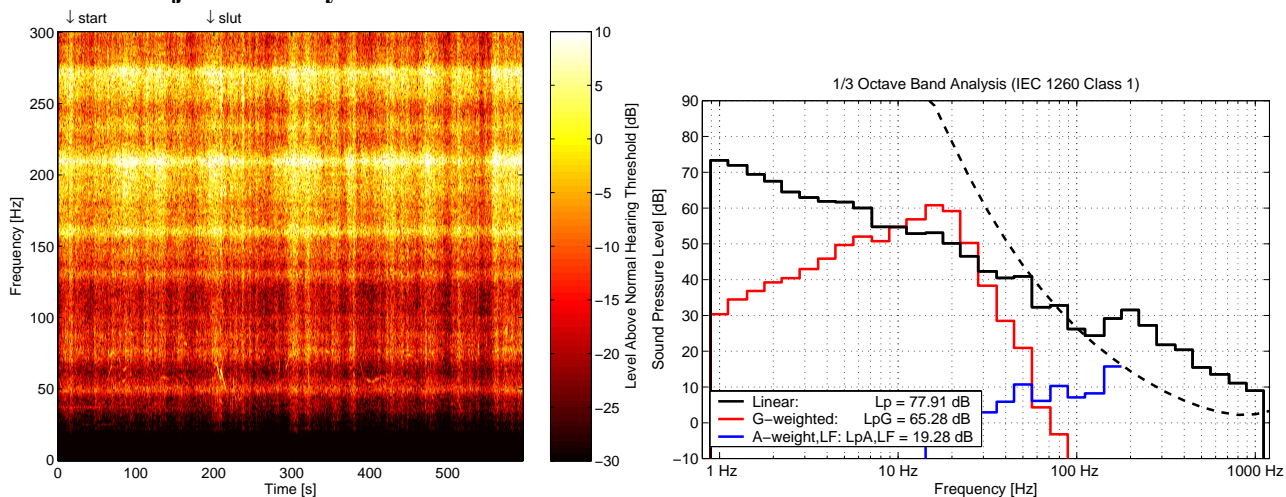
Måling af lavfrekvent støj og infralyd i et værelse i bolig beliggende ca. 325 m fra 750 kW vindmølle placeret sydøst for huset. Øgede vindhastigheder i forhold til tidligere måling (målerapport 185790, afsnit 5.6) for at undersøge støj ved højere last. Vindhastigheden varierede mellem 8.9 og 10.3 m/s med en middelvind på 9.4 m/s. Vindens hastighedskomponent er usikker, fordi vindmåleren drejede sig pga. den kraftige vind, men var vurderet til at være positiv under målingerne.

5.9.2 $L_{pA,LF}$ og L_{pG} for de hele måleperioder

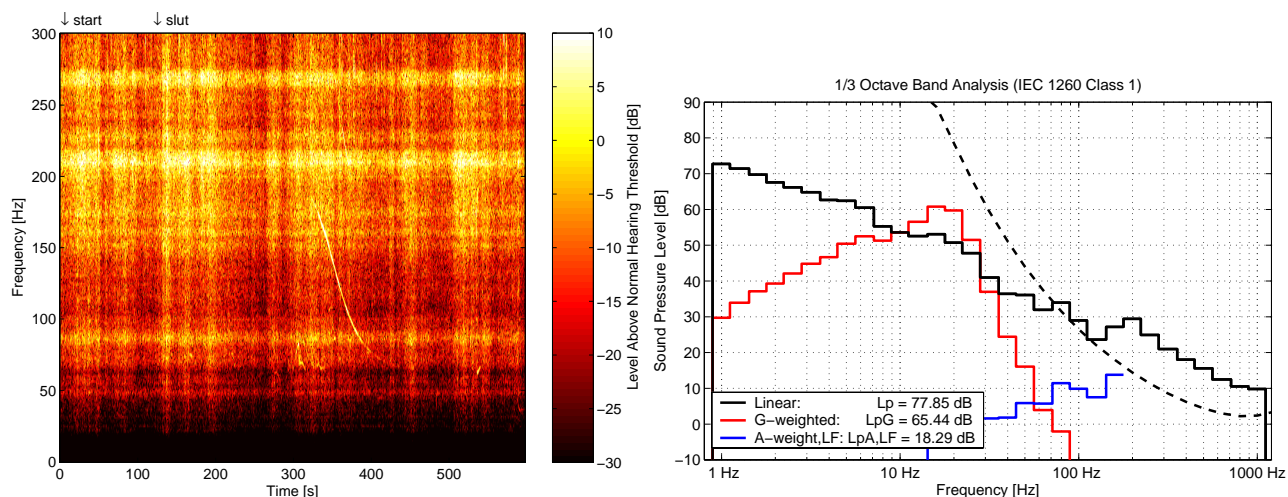
Tabellen viser de frekvensvægtede ækvivalente lydtryk for lyden i de forskellige målepositioner. Position 1-3 er fundet iht. miljøstyrelsens vejledning, mens position 4-6 er i hjørner.

A-vægtet lydtryksniveau (10-160 Hz) $L_{pA,LF}$ [dB]				G-vægtet lydtryksniveau L_{pG} [dB]			
Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Energi-middel	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Energi-middel
19.1	18.7	22.6	20.5	65.4	65.0	64.9	65.1
Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6	Energi-middel	Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6	Energi-middel
31.1	27.7	28.7	29.4	68.0	65.8	64.4	66.3

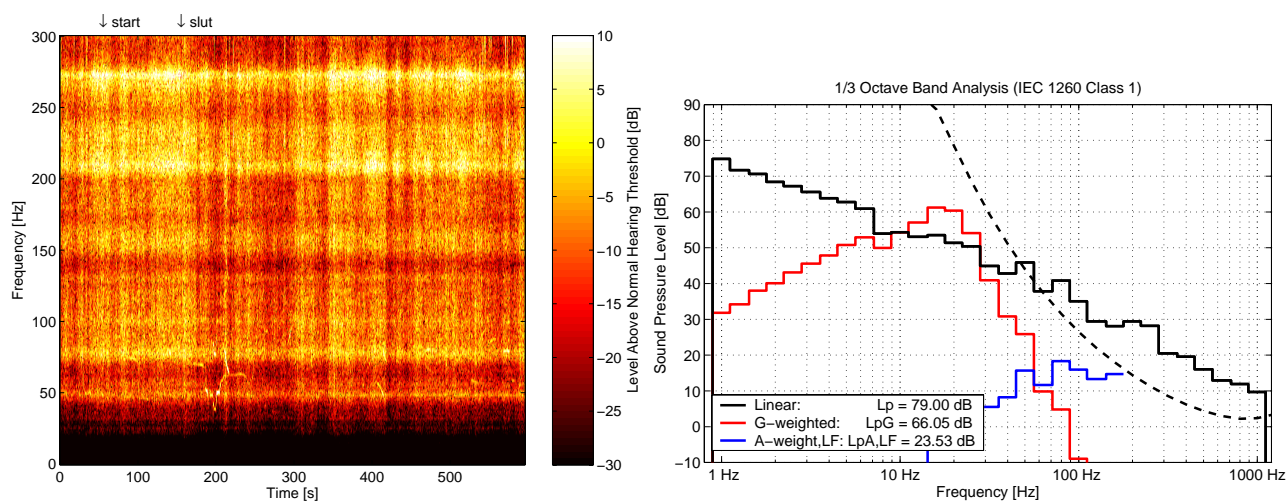
5.9.3 Detaljerede analyser



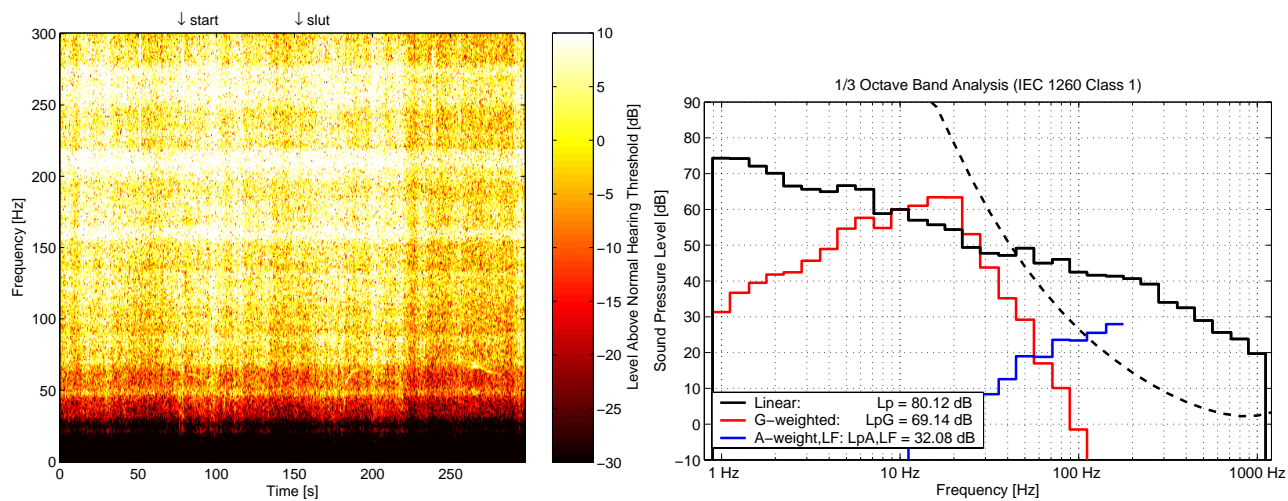
Figur 54: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 1. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



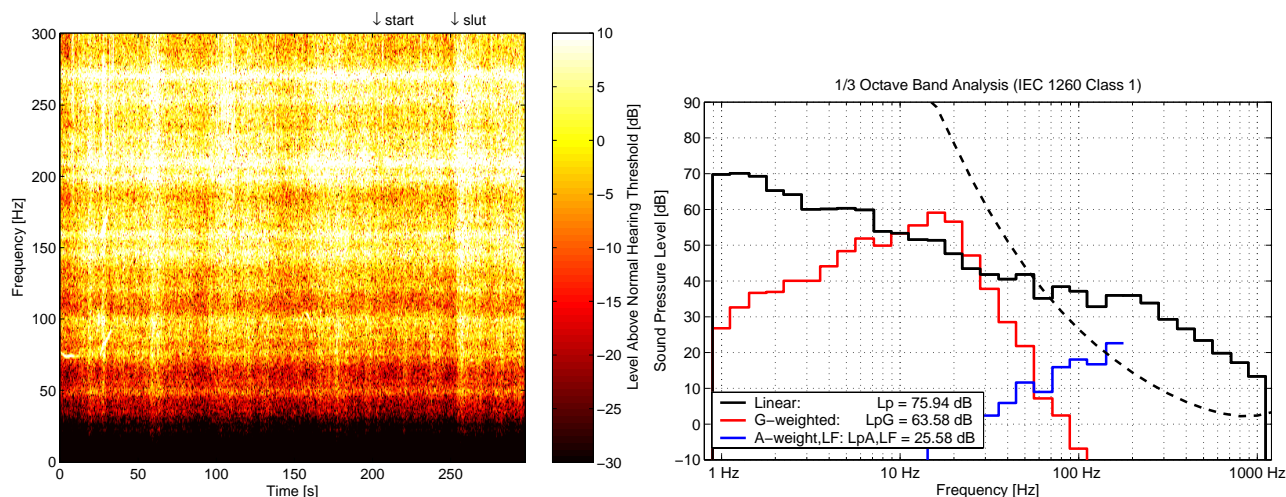
Figur 55: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 2. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



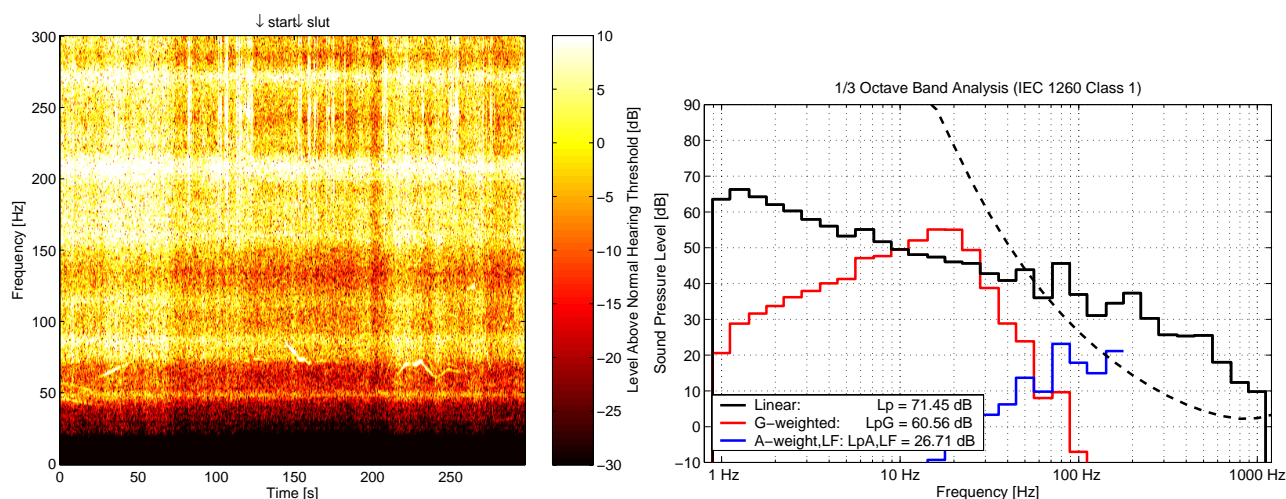
Figur 56: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 3. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 57: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 4. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 58: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 5. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 59: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 6. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.

5.9.4 Vurdering af støjen med henblik på potentielle støjgener.

L_{pG} ligger langt under grænseværdien, og det vurderes, at der ikke vil være gener på grund af infralyd. $L_{pA,LF}$ ligger netop over Miljøstyrelsens grænseværdi på 20 dB for boliger om aftenen og natten, mens målingerne i hjørnerne ligger langt over grænseværdien. Det vurderes, at støjen vil være generende for de fleste personer.

Alle måleværdier ligger langt højere end de tilsvarende værdier målt med lavere vindhastighed (målerapport 185790, afsnit 5.6). Det ses tydeligt ud fra Figur 54-Figur 59 at der generelt er megen baggrundsstøj i målingerne pga. den kraftigere vind. Nok består lyden af toner, for eksempel omkring 50, 80 og 160 Hz, men de er kraftigt modulerede og langt fra rene.

5.10 Målerapport 193926

5.10.1 Beskrivelse

Måling af lavfrekvent støj og infralyd i et værelse i ejendom beliggende ca. 700 m fra et biomassefyret kraftvarmeværk (samlet el- og varmeydelse i størrelsesordenen 260 MW) placeret nord for ejendommen (samme kraftvarmeværk som i målerapport 185163, afsnit 5.4).

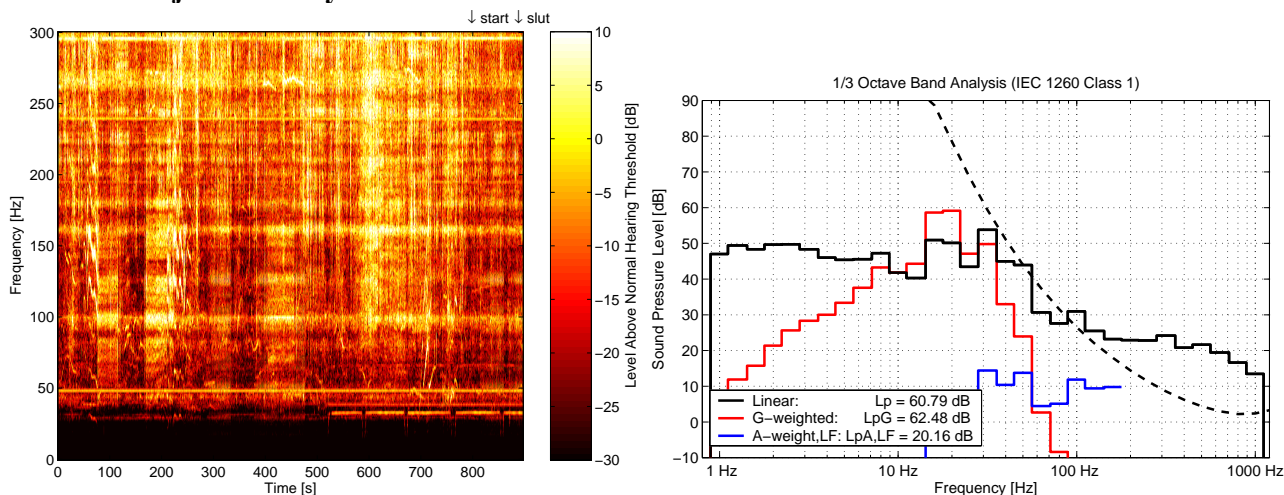
Vindhastigheden varierede mellem 2.0 og 4.7 m/s med en middelvind på 3.3 m/s, og vindens hastighedskomponent gående fra værket til ejendommen var positiv under målingerne. Ejendommen blev under målingerne brugt som byggepladskontor for et entreprenørfirma.

5.10.2 $L_{pA,LF}$ og L_{pG} for de hele måleperioder

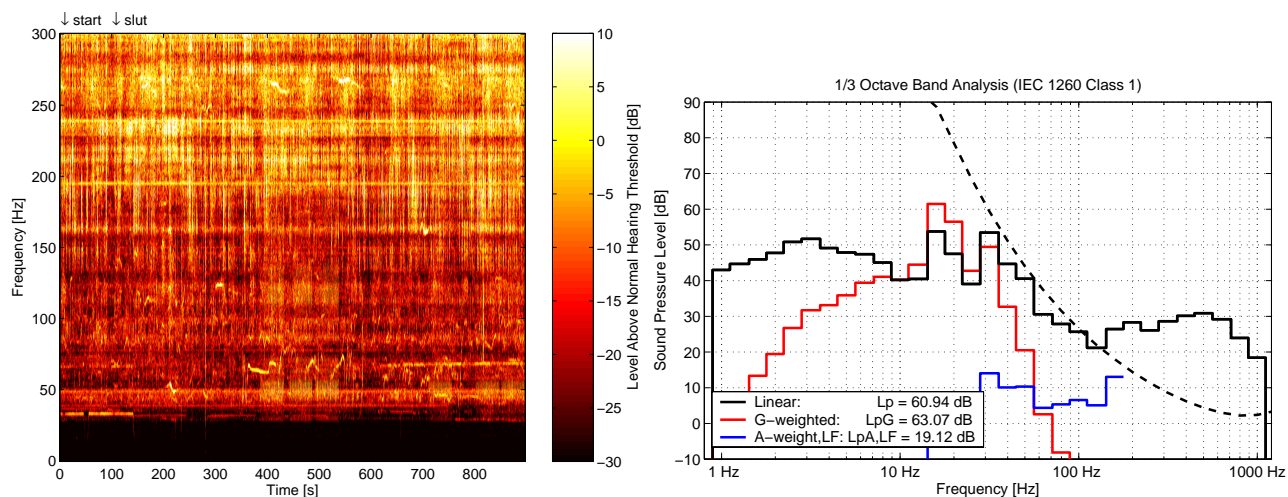
Tabellen viser de frekvensvægtede ækvivalente lydtryk for lyden i de forskellige målepositioner. Position 1-3 er fundet iht. miljøstyrelsens vejledning, mens position 4-6 er i hjørner.

A-vægtet lydtryksniveau (10-160 Hz) $L_{pA,LF}$ [dB]				G-vægtet lydtryksniveau L_{pG} [dB]			
Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Energi-middel	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Energi-middel
22.6	20.3	22.8	22.0	61.5	62.3	61.1	61.7
Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6	Energi-middel	Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6	Energi-middel
29.0	28.1	35.2	32.0	58.2	63.1	67.7	64.6

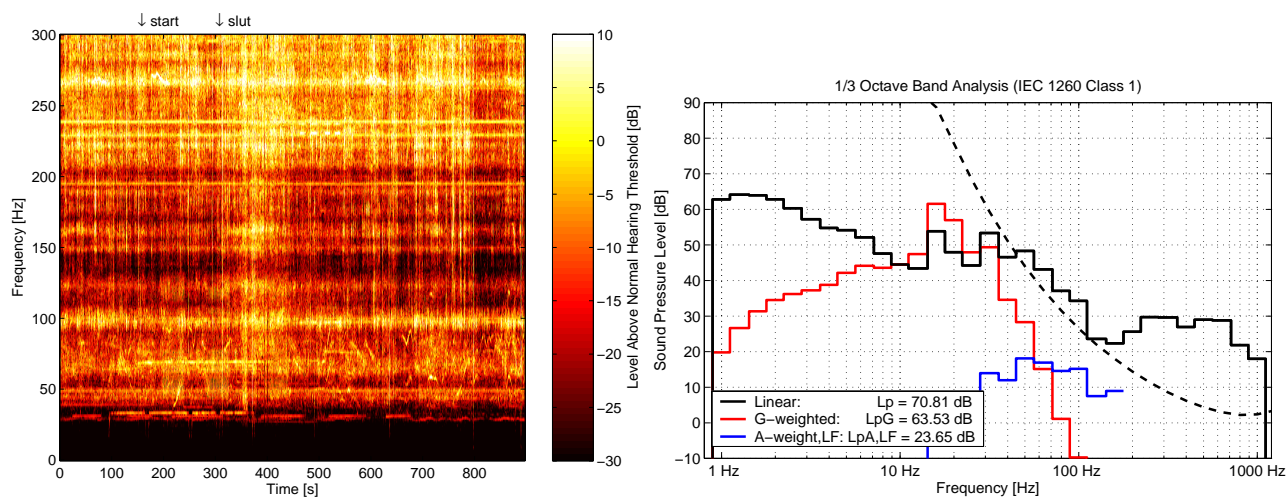
5.10.3 Detaljerede analyser



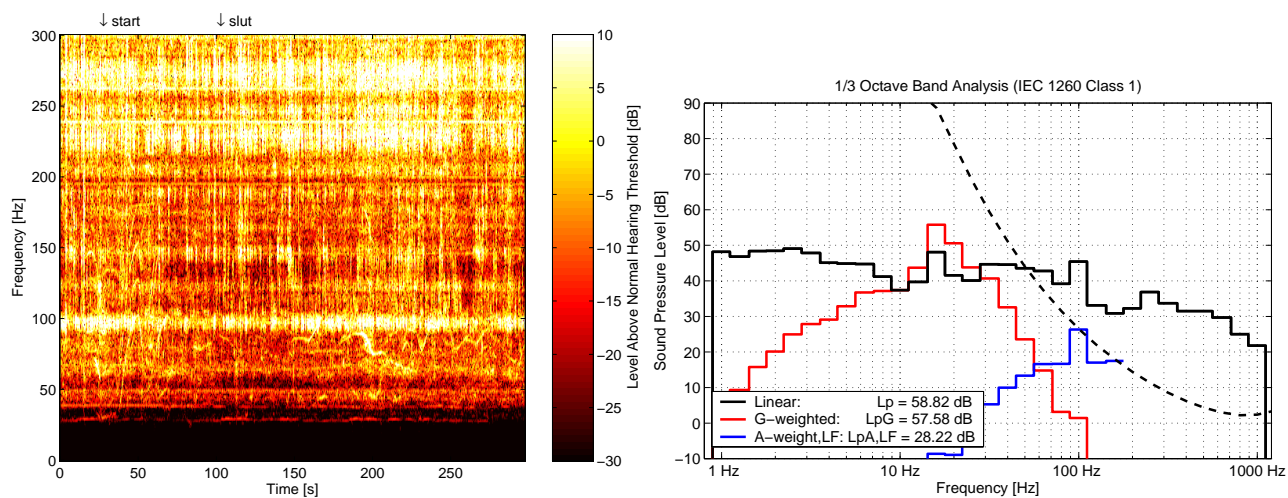
Figur 60: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 1. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



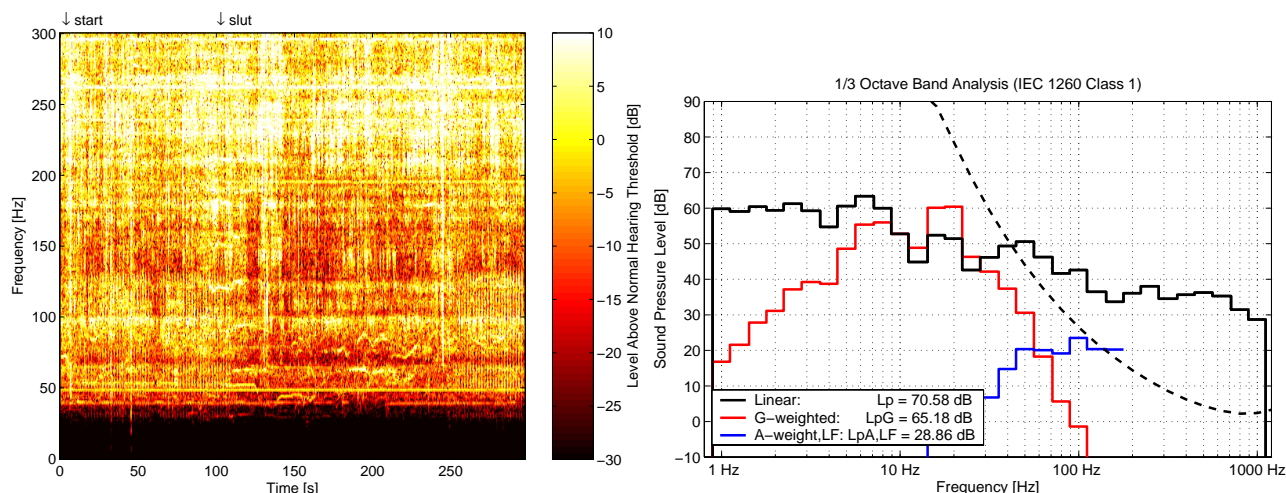
Figur 61: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 2. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



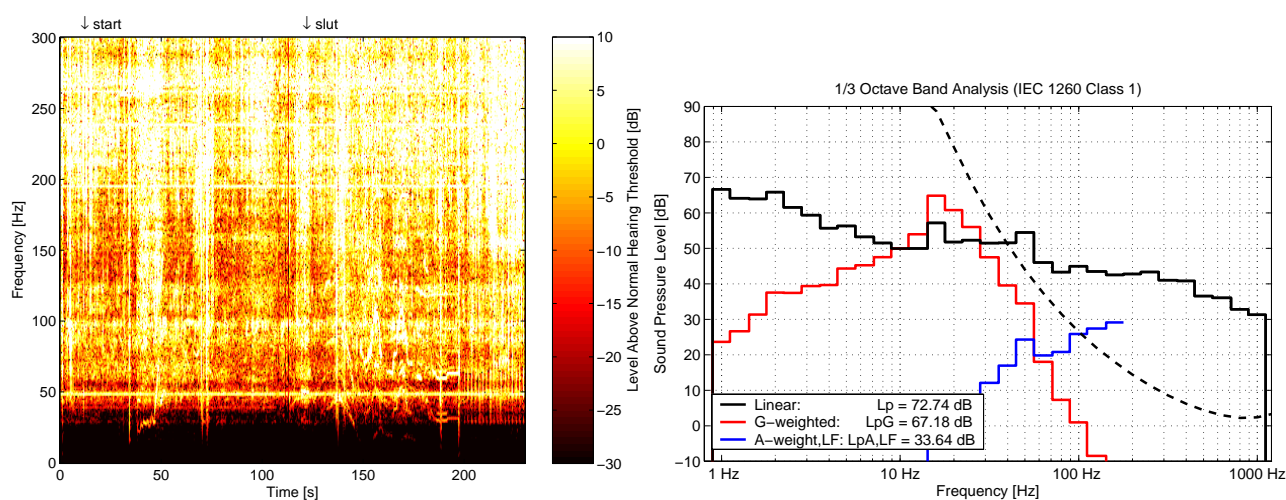
Figur 62: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 3. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 63: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 4. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 64: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 5. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 65: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 6. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.

5.10.4 Vurdering af støjen med henblik på potentielle støjgener.

L_{pG} ligger langt under grænseværdien, og det vurderes, at der ikke vil være gener på grund af infralyd. $L_{pA,LF}$ ligger under Miljøstyrelsens grænseværdi på 30 dB for kontorer. Havde ejendommen været brugt til boliger, ville grænsen være 20 dB aften og nat. Denne værdi er overskredet, og målingerne i hjørnerne ligger langt over. Det vurderes, at støjen vil være generende for de fleste personer.

Da ejendommen anvendes som byggepladskontor, er der under hele måleperioderne megen baggrundsstøj fra talende personer, smækkende døre etc. og måske fra byggepladsen. Det er derfor svært at vurdere, hvor meget af støjen, der stammer fra kraftværket. Det ses dog især på Figur 63, at der findes nogle kraftige impulser lige under 100 Hz, mens især Figur 65 viser en kraftig komponent lige under 50 Hz. Især den ca. 100 Hz impulsagtige støj vurderes til at være generende.

5.11 Målerapport 194868

5.11.1 Beskrivelse

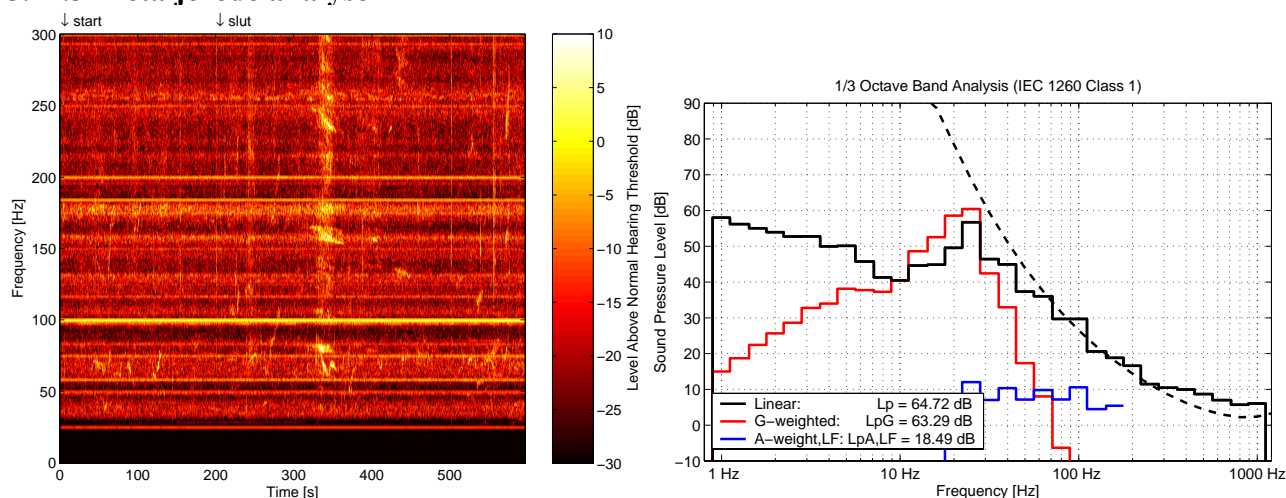
Måling af lavfrekvent støj og infralyd i et værelse i bolig beliggende ca. 26 m fra gasturbine og 55 m fra skorsten på et gasturbine kraftvarmeværk (samlet el- og varmeydelse på ca. 17-19 MW), som er placeret nord og nordvest for huset. Vindhastigheden varierede mellem 3.9 og 5.3 m/s med en middelvind på 4.4 m/s, og vindens hastighedskomponent fra varmeværket mod boligen var positiv under målingerne.

5.11.2 $L_{pA,LF}$ og L_{pG} for de hele måleperioder

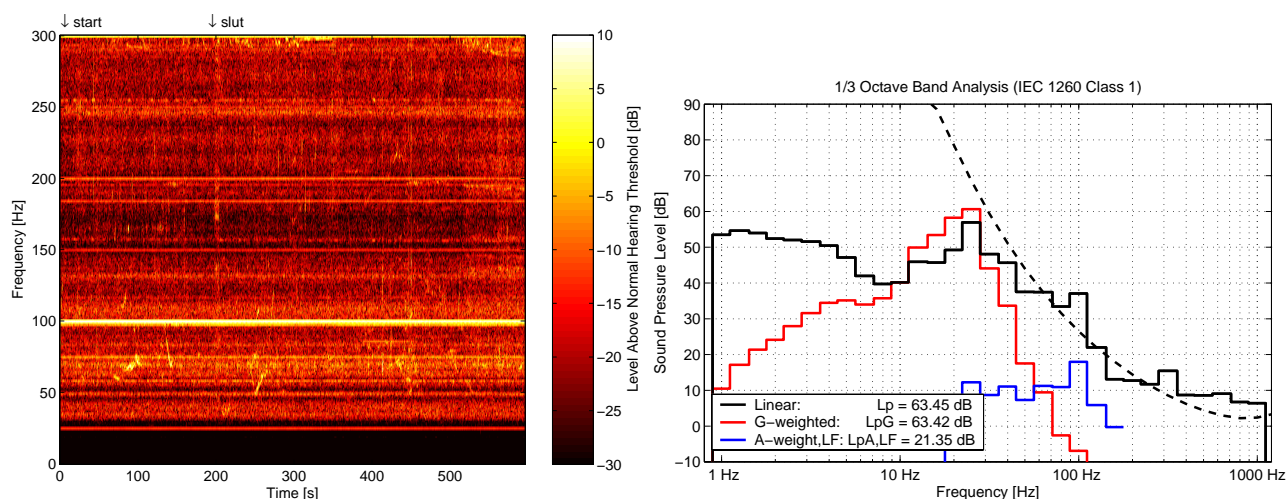
Tabellen viser de frekvensvægtede ækvivalente lydtryk for lyden i de forskellige målepositioner. Position 1-3 er fundet iht. miljøstyrelsens vejledning, mens position 4-6 er i hjørner.

A-vægtet lydtryksniveau (10-160 Hz) $L_{pA,LF}$ [dB]				G-vægtet lydtryksniveau L_{pG} [dB]			
Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Energi-middel	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Energi-middel
18.9	21.2	19.7	20.0	63.5	63.6	63.7	63.6
Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6	Energi-middel	Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6	Energi-middel
25.0	25.5	27.0	25.9	64.5	63.6	65.5	64.6

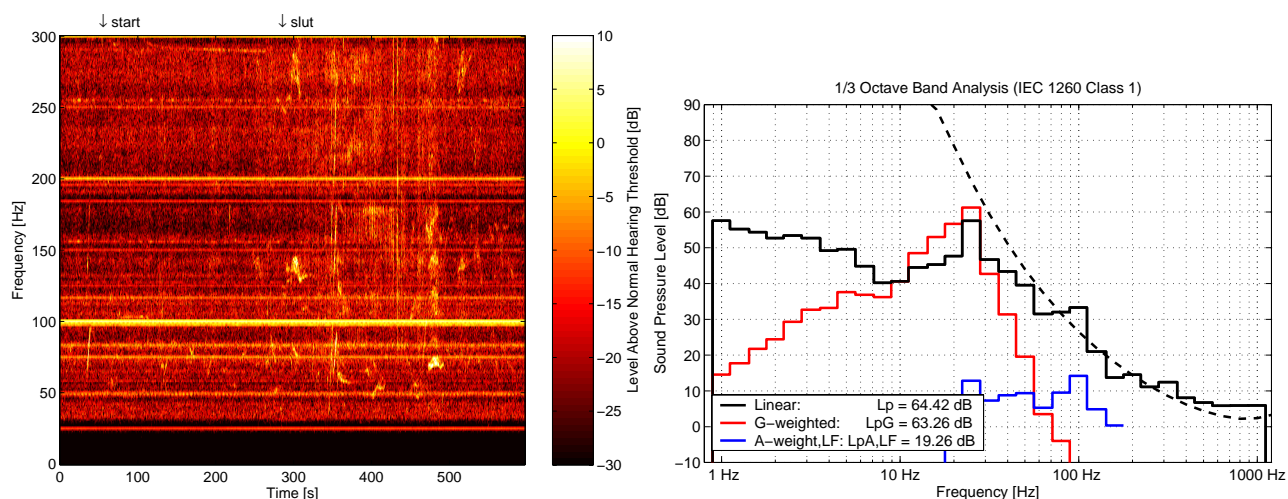
5.11.3 Detaljerede analyser



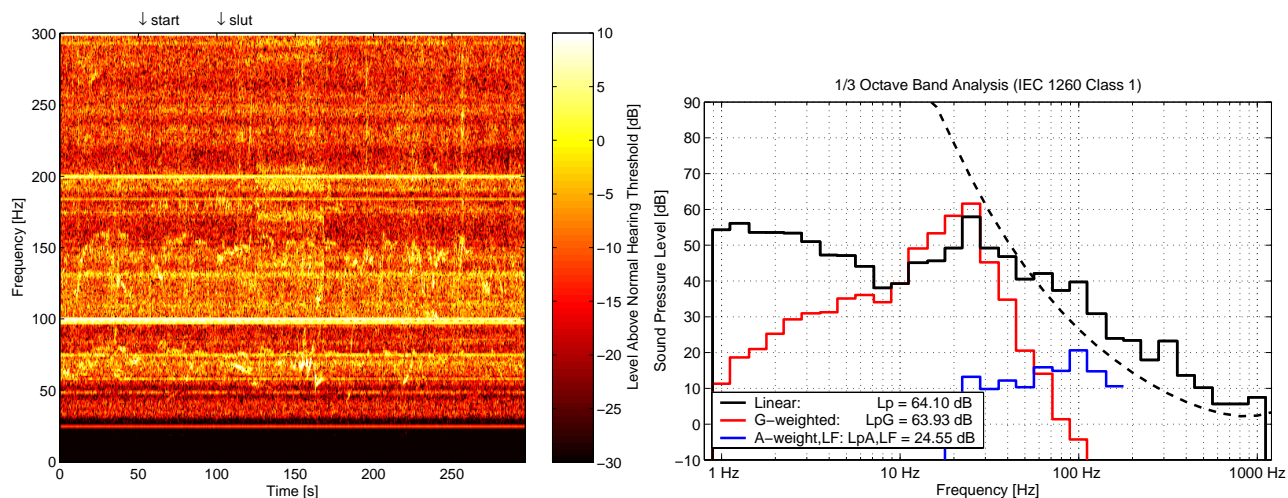
Figur 66: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 1. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



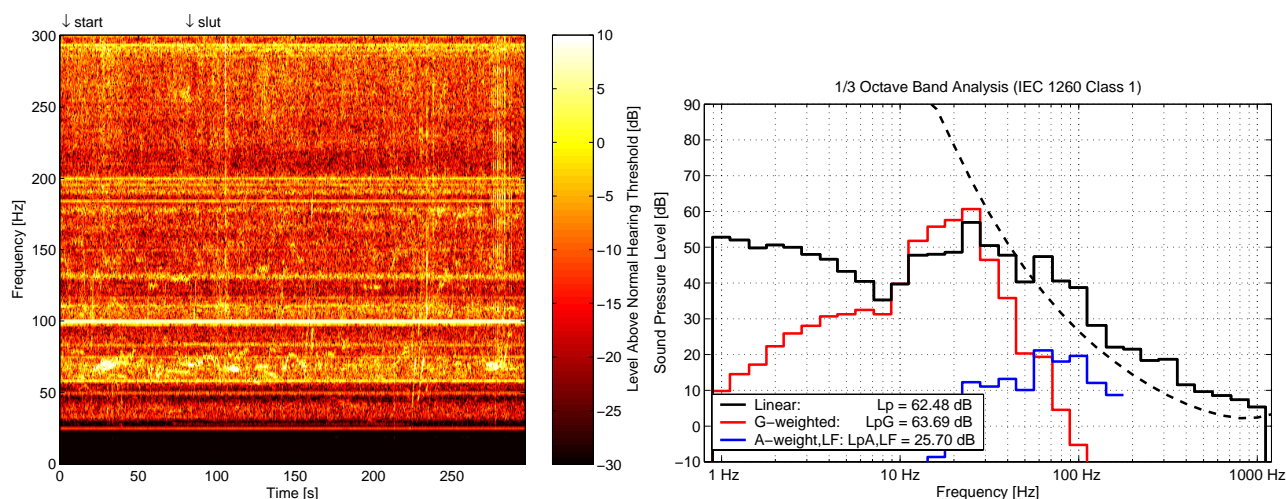
Figur 67: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 2. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



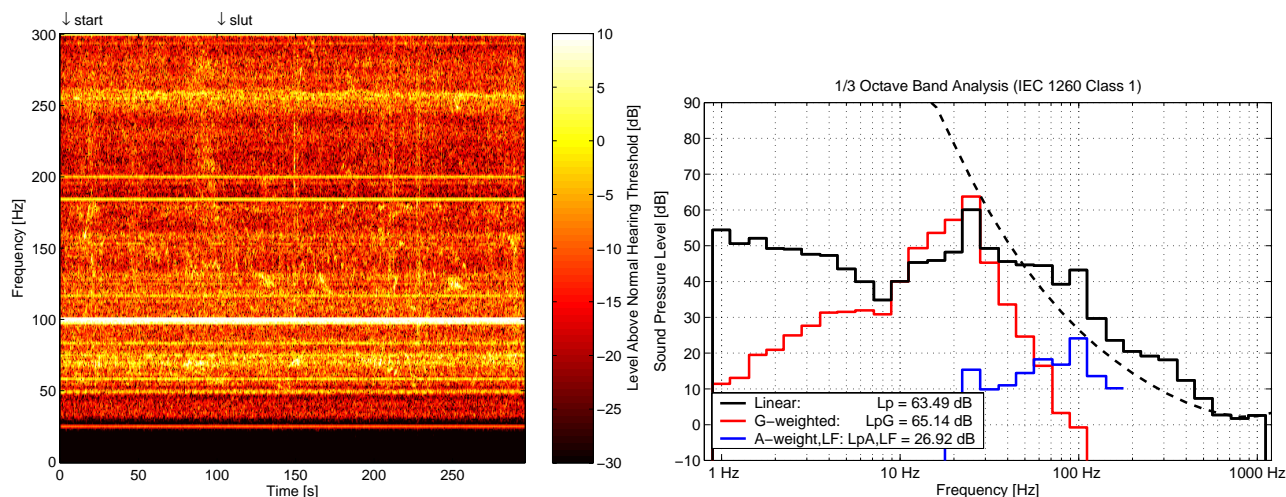
Figur 68: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 3. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 69: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 4. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 70: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 5. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.



Figur 71: Venstre: Tærskelvægtet spektrogram af målingen i position 6. Højre: 1/3-oktavbåndsanalyse af det markerede tidsinterval.

5.11.4 Vurdering af støjen med henblik på potentielle støjgener.

L_{pG} ligger langt under grænseværdien, og det vurderes, at der ikke vil være gener på grund af infralyd. $L_{pA,LF}$ ligger netop på Miljøstyrelsens grænseværdi på 20 dB for boliger om aftenen og natten, mens målingerne i hjørnerne ligger noget over grænseværdien. Det vurderes, at støjen vil være generende for de fleste personer.

Det ses ud fra Figur 66-Figur 71, at der er en kraftig 25 Hz komponent, som dog ligger under den normale høretærskel. Men højere harmoniske af 25 Hz komponenten ligger over den normale høretærskel, og især 100 Hz komponenten er kraftig og vurderes til at være generende.

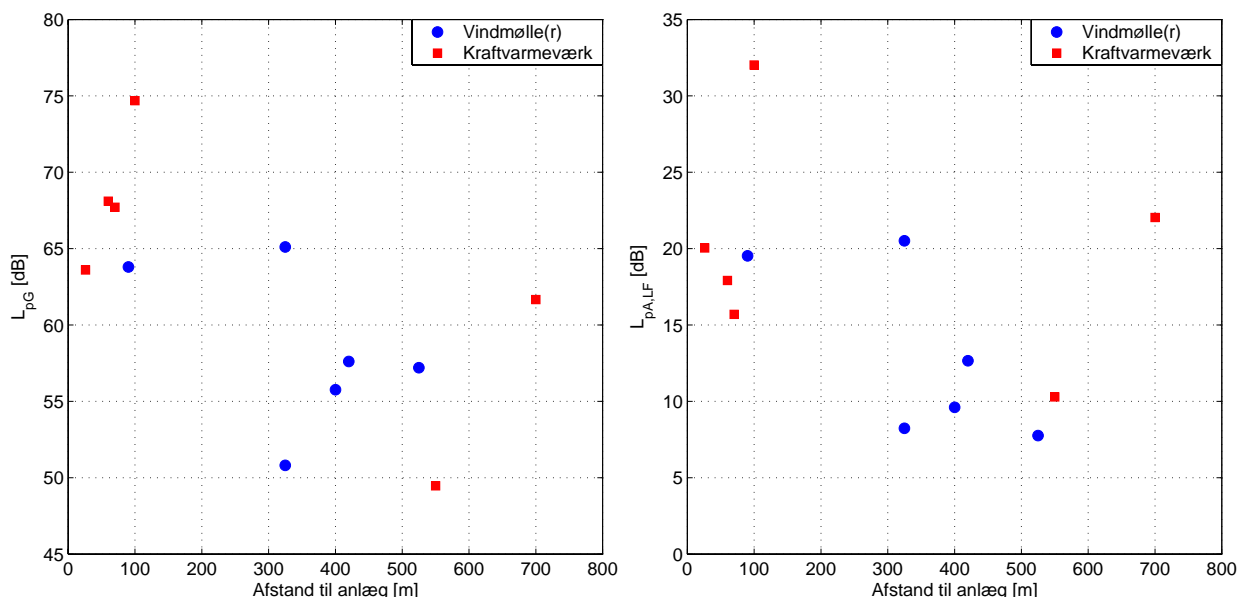
6 Diskussion

Generelt viser målingerne niveauer for infralyd, som ligger betydeligt under den normale høretærskel. Det vurderes derfor, at infralyd ikke vil være årsag til gener.

Derimod findes der i de fleste tilfælde hørbare frekvenskomponenter i lavfrekvensområdet. Der er typisk tale om toner, hvis frekvens har et simpelt forhold til netfrekvensen på 50 Hz, evt. til subharmoniske heraf. Tonerne er dog ofte moduleret i amplitude og/eller frekvens, så de ikke lyder som rene toner. I spektrogrammerne fremtræder de modulerede toner som ”mudrede” frekvensbånd fremfor som skarpe linier. Det ses i mange tilfælde, at Miljøstyrelsens grænseværdier er overholdt, hvor der findes frekvenskomponenter over den normale høretærskel. Hvorvidt disse komponenter er generende kan afhænge af, hvor god en persons hørelse er, samt hvor følsom personen er over for støj generelt.

6.1 Betydning af afstand og anlæg

Figur 72 viser L_{pG} og $L_{pA,LF}$ som funktion af afstanden fra det el-producerende anlæg. Det fremgår, at der generelt ikke er nogen tydelig sammenhæng mellem niveau og afstand. Det skyldes formodentlig, at der er meget stor forskel på de anlæg, som indgår i undersøgelsen. Forskelle i lydisolationen i de bygninger, der er målt i, spiller formodentlig også ind. De to højeste værdier af $L_{pA,LF}$ kommer fra det største af de indgående kraftvarmeværker (ca. 260 MW) i afstande på hhv. 100 og 700 m. De to målinger fra samme kraftvarmeværk i en afstand af hhv. 60 og 70 m viser resultater i samme størrelsesorden både for L_{pG} og $L_{pA,LF}$. De to måleværdier for en vindmølle i en afstand af 325 m stammer fra samme mølle målt præcist samme sted, men ved to forskellige vindhastigheder (4.4 og 9.4 m/s). Det ses tydeligt, at niveauet stiger betydeligt med stigende vind.

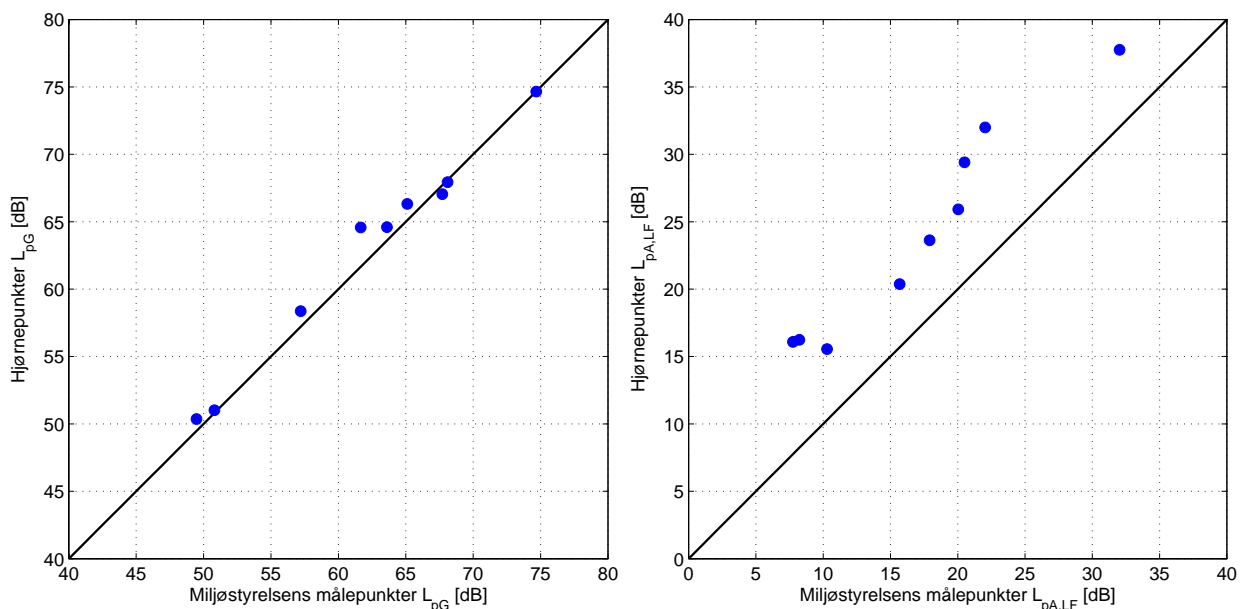


Figur 72: De energimidlede værdier for L_{pG} (venstre) og $L_{pA,LF}$ (højre) for målepositioner iht. Miljøstyrelsen som funktion af afstanden til det el-producerende anlæg.

6.2 Valg af målepunkter

Som nævnt i afsnit 3.1 er det meget sandsynligt, at der i målepositioner iht. Miljøstyrelsen findes lokale minima for nogle frekvenskomponenter pga. stående bølgemønstre i rummet. Det kan derfor antages, at disse målinger kan give for lave ækvivalente lydtryk, sammenlignet med hvad der findes andre steder i rummet, ja enkelte frekvenser kan næsten helt forsvinde.

Figur 73 viser sammenhængen mellem målinger udført i målepositioner iht. Miljøstyrelsen regler og i hjørner. (Sammenligningen er behæftet med en vis usikkerhed, idet målingerne ikke er foretaget i samme tidsperiode). For L_{pG} er der næsten ingen forskel på værdierne. Dette stemmer godt overens med teorien om standbølgemønstre, eftersom bølgelængderne for infralydsområdet er relativt store, så der er langt mellem standbølgemønstrets maksima og minima set i forhold til rummets dimensioner. Det betyder derfor ikke noget for L_{pG} , at målingerne er foretaget lidt væk fra vægge og loft/gulv. For $L_{pA,LF}$ ses det derimod tydeligt, at målinger udført i punkter iht. Miljøstyrelsen regler giver lavere værdier (5-10 dB) end målinger i hjørnerne, hvilket stemmer godt med den kortere bølgelængde ved disse frekvenser. Samtidig bekræftes forekomsten af stående bølger.



Figur 73: De energimidlede værdier for L_{pG} (venstre) og $L_{pA,LF}$ (højre) for målepositioner iht. Miljøstyrelsen sammenlignet med hjørnepositioner.

Målingerne i hjørner giver et større indblik i hvilke frekvenskomponenter, som findes i rummet, men der er en risiko for at få værdier, der er højere end det, personer vil blive udsat for ude i rummets opholdsarealer. For den enkelte frekvens findes det samme niveau formodentlig også ude i rummet, men hvis det samlede niveau er bestemt af mange forskellige frekvenser, der hver især bidrager nogenlunde ligeligt, kan det udjævne lydtrykket i rummet, mens frekvenserne i højere grad summeres i hjørnerne. Der savnes undersøgelser af disse forhold, før målemetoderne kan endeligt vurderes. En enkelt undersøgelse er i gang [13].

6.3 Betydning af energimidling

Undersøgelsens resultater giver mulighed for at vurdere betydningen af energimidlingen mellem de tre målepositioner. Hvis et givet niveau er målt i et rum, så vil personer, der opholder sig på den pågældende position faktisk blive udsat for dette niveau, uanset om der andre steder i rummet måtte være lavere niveauer. Man kan derfor hævde, at man burde benytte det højeste af de målte niveauer fremfor middelværdien. Det faktum, at der bruges en energimidling, betyder dog, at resultatet kommer tættere på det højeste niveau, end hvis der blev benyttet en simpel middelværdi. For L_{pG} ligger energimiddelværdien for de tre målepositioner iht. Miljøstyrelsens regler tæt på den højeste måling (0.1-1.6 dB under), mens der ses lidt større forskelle for $L_{pA,LF}$ (0.4-3.1 dB under).

6.4 Betydning af baggrundsstøj

Elsam Engineering har kun i ét tilfælde udført målinger af baggrundsstøj. Det var her muligt at vise hvilke støjbidrag, der kom fra hhv. to nærtliggende møller og seks møller længere væk. I de øvrige tilfælde er der ikke lavet målinger af baggrundsstøjen, dvs. med anlægget slukket. Man kan derfor ikke med sikkerhed sige, at den målte støj kommer fra det elproducerende anlæg. Visse steder, især ved lave niveauer, giver analyserne anledning til at tro, at dele af støjen kan komme andre steder fra.

7 Resumé og konklusion

Der er lavet 12 målinger af lavfrekvent støj og infralyd i boliger og kontorer. Støjkilderne er enten en eller flere vindmøller (0.6-2.75 MW), nærmeste i en afstand af 90-525 m, eller kraftvarmeværker (8-260 MW), afstand 26-700 m.

I alle tilfælde ligger niveauet af infralyd (frekvenser under 20 Hz) langt under den normale høretærskel. Det vurderes derfor, at infralyden ikke vil være årsag til gener.

I lavfrekvensområdet (20-200 Hz) findes der derimod i de fleste tilfælde støj, som ligger over den normale høretærskel. I nogle tilfælde er niveauet så højt, at de fleste vil være generet af støjen, mens graden af gene i andre tilfælde vil afhænge af den individuelle persons høretærskel, og af hvor følsom personen er over for støj generelt. De højeste niveauer er fundet fra de største kraftvarmeværker, hvor der er målt værdier, som overskrider Miljøstyrelsens grænser for boliger i aften- og nattetimerne så langt væk som 700 m (dog målt i et kontor, hvor grænsen er højere). En af vindmøllerne er målt både i let vind (4.4 m/s) og i kraftigere vind (9.4 m/s), og målingerne viser langt højere værdier i den kraftige vind.

Støjen består typisk af toner, hvis frekvens som regel har et simpelt forhold til netfrekvensen på 50 Hz. Tonerne er dog ofte moduleret i styrke og/eller frekvens, så de ikke lyder som rene toner og heller ikke fremtræder sådan i analyserne.

Miljøstyrelsen har lavet regler for indendørs målepositioner, som giver teoretisk risiko for særligt lave værdier for visse frekvenser. En alternativ metode med måling i hjørner (dvs. tre-dimensionelle hjørner, helt ud i hjørnet mellem to vægge og gulv eller loft), hvor der er større sikkerhed for at fange alle frekvenser, blev afprøvet. For infralydens vedkommende betød det ikke noget, hvor målepositionerne var, men for den lavfrekvente støj gav hjørnemålingerne højere værdier (5-10 dB). Det blev ikke vist, om disse højere værdier også findes ude i rummet, hvor personer typisk vil opholde sig. Nye undersøgelser må afventes.

Desværre er der kun i ét tilfælde målt baggrundsstøj med værket eller vindmøllen standset. Man kan i de øvrige tilfælde ikke sige med sikkerhed, at den målte støj kommer fra værket eller møllen/møllerne.

8 Referencer

- 1 ISO 389-7, "Acoustics - Reference Zero for the Calibration of Audiometric Equipment - Part 7: Reference Threshold of Hearing Under Free-Field and Diffuse-Field Listening Conditions", *International Organization for Standardization, Genève*, (1996).
- 2 Møller, H. and Pedersen, C. S., "Hearing at Low and Infrasonic Frequencies", *Noise & Health*, **6** (23), 37-57, (2004).
- 3 Okai, O., Saito, M., Taki, M., Mochizuki, A., Nishiwaki, N., Mori, T., and Fujio, M., "Physiological Parameters in Human Response to Infrasound", *Conference on low frequency noise and hearing*, 121-129, Aalborg, Denmark, (1980).
- 4 Yamada, S., Kosaka, T., Bunya, K., and Amemiya, T., "Hearing of Low Frequency Sound and Influence on Human Body", *Conference on low frequency noise and hearing*, **55** (4), 814-818, Aalborg, Denmark, (1980).
- 5 ISO 226, "Acoustics - Normal Equal-Loudness-Level Contours", *International Organization for Standardization, Genève*, (2003)
- 6 Békésy, G. v., "Über Die Hörshwelle Und Fühlgrenze Langsamer Sinusförmiger Luftdruckschwankungen", *Annalen der Physik*, **5** (26), 554-566, (1936).
- 7 Møller, H., "Physiological and Psychological Effects of Infrasound on Humans", *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*, **3** (1), 1-17, (1984).
- 8 Vercammen, M. L. S., "Setting Limits for Low Frequency Noise", *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*, **8** (4), 105-109, (1989).
- 9 Inukay, Y., Yamada, S., Ochiai, H., and Tokita, Y., "Acceptable Limits and Their Percentiles for Low Frequency Noise in Ordinary Adults and Complainants", *11th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control*, 117-127, Maastricht, The Netherlands, (2004).
- 10 Miljøstyrelsen., "Lavfrekvent Støj, Infralyd Og Vibrationer i Eksternt Miljø", Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 9, (1997).
- 11 Simmons, C., "Vägledning För Mätning Av Ljudnivå i Rum Vid Låga Frekvenser - Fältprovning (in Swedish)", **SP INFO 1996:17**, Socialstyrelsen, Sweden, (1996).
- 12 DIN 45680, "Messung Und Bewertung Tieffrequenter Geräuschemissionen in Der Nachbarschaft", *Deutsches Institut für Normung*, (1997).
- 13 Møller, H., Persson Waye, K., and Pedersen, S., "Measurement of Low-Frequency and Infrasonic Noise in Rooms", *To be submitted to the Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, (2005).
- 14 IEC 61672-1, "Electroacoustics - Sound Level Meters - Part 1: Specifications", *International Electrotechnical Commission, Genève*, (2002).
- 15 Tempest, W., "Loudness and Annoyance Due to Low Frequency Sound", *Acustica*, **29**, 205-209, (1973).
- 16 Kjellberg, A., Goldstein, M., and Gamberale, F., "An Assessment of DB(A) for Predicting Loudness and Annoyance of Noise Containing Low Frequency Components", *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*, **3** (3), 10-16, (1984).
- 17 Møller, H., "Annoyance of Audible Infrasound", *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*, **6** (1), 1-17, (1987).
- 18 Hellman, R. and Zwicker, E., "Why Can a Decrease in DB(A) Produce an Increase in Loudness?", *Journal of Acoustical Society of America*, **82** (5), 1700-1705, (1987).

- 19 Persson, K., Björkman, M., and Rylander, R., "Loudness, Annoyance and DBA in Evaluating Low Frequency Sounds", *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*, **9** (1), 32-45, (1990).
- 20 Poulsen, T. and Mortensen, F. R., "Laboratory Evaluation of Annoyance of Low Frequency Noise", Danish Environmental Protection Agency, (2002).